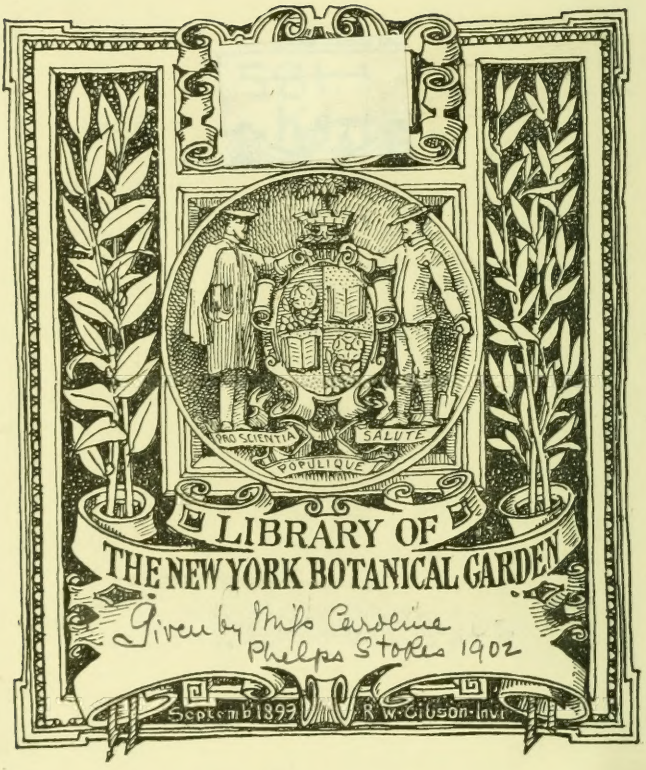

PRO SCIENTIA
SALUTE
POPULIQUE
LIBRARY OF
THE NEW YORK BOTANICAL GARDEN
Given by Miss Caroline
Phelps Stokes 1902
September 1899
R. W. Gibson. Invt.

ANATOMISCH-PHYSIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG

DER

KALKSALZE UND KIESELSÄURE IN DER PFLANZE.

EIN BEITRAG

ZUR

KENNTNISS DER MINERALSTOFFE IM LEBENDEN PFLANZENKÖRPER

VON

Dr. FRIEDRICH GEORG KOHL.

LIBRARY
NEW YORK
BOTANICAL
GARDEN.

MIT ACHT LITHOGRAPHIRTEN TAFELN.

MARBURG.
N. G. ELWERT'SCHE VERLAGSBUCHHANDLUNG.
1889.

.K6
1889

Alle Rechte — auch in Bezug auf die Abbildungen — vorbehalten.

G. Otto's Hof-Buchdruckerei in Darmstadt.

KALKSALZE UND KIESELSÄURE

IN DER PFLANZE.

W YO.

VORWORT.

Die festen Einschlüsse von Mineralstoffen im Pflanzenleib sind zwar schon von zahlreichen Botanikern zum Gegenstand ihrer Untersuchungen gemacht worden, immer aber gaben ganz specielle Fragen oder einzelne Erscheinungen, seltener engbegrenzte Gruppen von solchen Anlass zu den betreffenden Arbeiten. In diesem Buche habe ich es zum ersten Male unternommen, die Gesammtheit der Vorkommnisse der weitaus wichtigsten Mineralsubstanzen, der Kieselsäure und der Kalksalze, in der Pflanze anatomisch und physiologisch zu behandeln und damit einen Grund zu legen für die weiteren Forschungen über diesen Gegenstand, welcher, ich brauche es kaum zu bemerken, den höchsten Anspruch auf das Interesse des Botanikers erheben darf. Denn Kieselsäure und Kalksalze repräsentiren eine Stoffgruppe, deren Verbreitung im Pflanzenreich an Ubiquität grenzt, deren physiologisch-anatomische Bedeutung ebenso vielseitig als wichtig ist, so dass es eine Unterlassungssünde mit bedenklichen Consequenzen sein würde, wollte man dies Gebiet als eine terra incognita liegen lassen, um benachbarte frisch in Angriff zu nehmen oder weiter zu bearbeiten. *H. Graf zu Solms-Laubach* sagt am Schluss seiner werthvollen Abhandlung „Ueber einige geformte Vorkommnisse oxalsauren Kalkes in lebenden Zellmembranen“: „Und so zweifle ich denn auch nicht, dass eine derartige den in der jetzigen Literatur vorhandenen Bruchstücken gegenüber umfassende Behandlung der Frage nach Vorkommen, Bau und Entwicklung anorganischer krystallinischer und krystallisirter Gebilde im pflanzlichen Organismus gar manche werthvolle Resultate ergeben und unsere vorerst noch so mangelhafte Kenntniss von deren Bedeutung für die Oeconomie der Pflanze gar wesentlich fördern müsste.“ Ich habe an der Lösung der durch diese Worte gekennzeichneten Aufgabe gearbeitet

JAN 1- 1902

ohne den Anspruch zu erheben, dieselbe auch nur annähernd vollständig gelöst zu haben. Mehrere der zunächst noch offen gebliebenen Specialfragen unterliegen zur Zeit noch einer auf breiter Basis ruhenden experimentellen Untersuchung, deren Resultate ich später zu publiciren gedenke, so z. B. über die mechanische Wirkung der Incrustation der Zellmembran mit verschiedenen Stoffen, über die Bedingungen der Oxalsäure-Bildung in der Pflanze und die Ursachen, welche deren Ausbleiben in manchen Gewächsen zur Folge haben etc. etc. Diese Schrift soll demnach für weitere Untersuchungen die Grundlage bilden.

Aus der wahrhaft überwältigenden Menge von Einzelerscheinungen sind nur typische und unzweifelhaft sichere ausgewählt, um an ihnen das anatomische Auftreten und die physiologische Bedeutung der in Rede stehenden Stoffe darzulegen. Hypothetisches habe ich als solches hingestellt, Thatsächliches zum grössten Theil selbst beobachtet oder den Arbeiten zuverlässiger Forscher entnommen, mir persönlich unsicher Erscheinendes und Unrichtiges habe ich weggelassen.

Um eine fortlaufende, meiner Disposition entsprechende, durch Excurse nicht allzusehr unterbrochene Darstellung zu ermöglichen, habe ich Vieles dem jeden der beiden Theile des Buches beigegebenen Anhange einverleibt. Dort hat auch Alles Platz gefunden, was mir einen auffallend hypothetischen Charakter zu tragen schien und endlich Mancherlei, was während des Druckes noch als zur Sache gehörig von mir erkannt wurde. Ich ersuche deshalb den geschätzten Leser, auch diesen Zusätzen einige Aufmerksamkeit zu schenken.

Die zahlreichen Figuren sind mit ganz wenigen Ausnahmen nach Originalzeichnungen hergestellt, und zwar in so vorzüglicher Weise, dass dem Herrn Verleger für seine Liberalität meinen ergebensten Dank auszudrücken ich nicht verfehle.

Von der neuen und neuesten Literatur wird man die bis zum Ende des Jahres 1888 erschienenen Abhandlungen möglichst berücksichtigt finden.

Beim Abschluss des Manuscriptes drängt es mich, auch an dieser Stelle meinen ehrerbietigsten Dank auszusprechen Sr. Excellenz dem Cultusminister Herrn Dr. *von Gossler*, welcher mir es ermöglichte, im Frühjahr 1888 in der zoologischen Station zu Neapel an den dortigen reichen Schätzen mariner Kalkalgen Untersuchungen anstellen zu können, Untersuchungen, deren Resultate allerdings

nur zu einem verschwindend kleinen Theile in dieser Arbeit Verwerthung gefunden haben, vielmehr in einer noch der Vollendung entgegengehenden „Monographie fossiler und recenter Kalkalgen“ der Oeffentlichkeit übergeben werden sollen. Ferner sei es mir gestattet, den Herren Professoren *Goebel* und *Warming* meinen ergebensten Dank für freundliche Unterstützung und Ueberlassung von werthvollem Untersuchungsmaterial zum Ausdruck zu bringen.

„Habent sua fata libelli“, des Terentianus Maurus inhaltschwere Worte spenden Jedem, der ein Buch in die Welt sendet, auch wenn er sich etwaiger Mängel desselben bewusst ist, einen gewissen Trost, denn immer waren die „fata“ unabänderliche Beschlüsse einer Gottheit oder Bestimmungen einer nach dunklen geheimnissvollen Gesetzen waltenden Weltordnung! Doch nicht Schicksale allein, sondern ein glückliches Geschick möchte ich meinem Buche wünschen, und empfehle es deshalb zugleich der freundlichen Würdigung und weitgehendsten Nachsicht meiner Fachgenossen.

Marburg, Januar 1889.

F. G. Kohl.

INHALTSÜBERSICHT.

Seite.

EINLEITUNG 1

ERSTER THEIL: KALK IN DER PFLANZE.

CAPITEL I. **Auftreten des Calciums im Allgemeinen** 7

Calcium ein unentbehrlicher Aschenbestandtheil 8
Kalkpflanzen, Kalkanzeiger 9
Kalkgehalt der Pflanzen im Allgemeinen. Kalkalgen 11
Die löslichen Calciumsalze in der Pflanze 12
Kalkoxalat, Kalkcarbonat 13
Verkalkte Membranen und die Form der incrustirenden Kalkverbindung 14

CAPITEL II. **Kalksalze.**

ABSCHNITT I. CALCIUMOXALAT.

Krystallformen des oxalsauren Kalkes. 15
tetragonale.
monocline.
Optisches Verhalten des oxalsauren Kalkes 19
A. der tetragonalen Krystalle 19
B. der monoclinen Krystalle 20
C. der Drusen 21
D. der Sphärite 21
Untersuchung der Bildungsbedingungen der einzelnen Krystallformen. 21
Versuche mit Calciumsulfat, Chorcalcium, Calciumnitrat, oxalsaurem Kali 23
Drusen 28
Sphärite 30
künstliche 31
natürliche 31
Kryptokrystallinisches Calciumoxalat 34
Allgemeines über den Ort des Auftretens des Calciumoxalats . . 35

*

Seite.

a. in der ganzen Pflanze 35
b. in der einzelnen Zelle 37
Primärer oxalsaurer Kalk 41
Sekundärer oxsalsaurer Kalk 43
Tertiärer oxalsaurer Kalk 43
Beziehung desselben zu den Siebröhren und sklerenchymatischen Elementen 44
Pandanus furcatus, Radix Calumbae, Cecidomya-Gallen, Zwiebeln, Samen, Pericarpien, Thyllen, Knollen, Rhizome, Wurzeln, Brutknospen.
Oxalsaurer Kalk im Endosperm und den Cotyledonen . . . 48
Verhalten desselben beim Keimen am Licht und im Dunkeln 50
Quartärer oxalsaurer Kalk 52
Späteres Schicksal des primären Oxalats 55
Wanderung des Calciumoxalats überhaupt.
Verschwinden des oxalsauren Kalkes 58
Beziehung des oxalsauren Kalkes zur Acidität des Zellsaftes . . 60
Oxalsaurer Kalk in Proteïnkörnern 61
Kalkoxalat in den Blüthen 62
Fehlen des Kalkoxalats im Zellinhalt 64
Der Membran aufgelagertes Kalkoxalat 68
Der Membran eingelagertes Kalkoxalat 71
Rosanoff'sche Drusen und „le tissu spécial" Payens 79
Rhaphiden 91
Rhaphidenpflanzen 96
Reactionen des oxalsauren Kalkes 98

ABSCHNITT II. CALCIUMCARBONAT.

Allgemeines 98
I. Kalkcarbonat-Auflagerung 99
Landpflanzen 99
Wasserpflanzen 102
Pilze. Lathraea Squamaria 104
II. Kalkcarbonat als Zellinhaltskörper 106
Kalkcarbonat der Myxomyceten 106
Kalkcarbonat in Pericarpien 109
Blasia pusilla. Kernholz und Splint vieler Dicotyledonen . . . 113
Kalkcarbonat-Concremente im Sameneiweiss der Kokospalme . . 114
III. Kalkcarbonat in der Membran 115
a. Cystolithen 115
Bau. Gestalt 116
Chemische Zusammensetzung 118
Ort des Auftretens 119
Optisches Verhalten 119
Modus der Kalkeinlagerung 121
Moraceen 123

Seite.

Urticaceen 126
Cucurbitaceen 128
Cannabineen 132
Combretaceen 134
Acanthaceen 134
Function und Schicksal der Cystolithen 137
Rudimentäre Cystolithen 141
b. Mit Calciumcarbonat incrustirte Zellwände . . 142
Kalkalgen 143
Funktionen des Kalkcarbonats in der Pflanze 150

ABSCHNITT III. CALCIUMPHOSPHAT. 155

ABSCHNITT IV. CALCIUMSULFAT 158

Physiolog. u. Biolog. Funktionen des Kalkoxalats . . . 160
Anhang zu den „Kalksalzen" 166

ZWEITER THEIL: KIESELSÄURE IN DER PFLANZE.

CAPITEL III. **Auftreten der Kieselsäure im Allgemeinen und Historisches** 197

Kieselpflanzen 199
Kieselgehalt der Pilze 199
„ „ Flechten 200
„ „ Moose 201
„ „ Lycopodien und Farne 201
„ von Equisetum 202
Marsilia salvatrix. Gymnospermen 202
Monocotyledonen 203
Dicotyledonen 204
Historisches 207

CAPITEL IV. **Kieselsäure-Abscheidung auf der Pflanze resp. ausserhalb der Pflanzenzelle** 228

Tabaschir 229

CAPITEL V. **Verkieselung der Membran** 232

Epidermis 232
Trichome aller Art 233
Verkieselung von Membranen im Grund- und Stranggewebe . . 236
Cystolithen und ähnliche Vorsprungsgebilde 237

CAPITEL VI. **Verkieselungen im Zellinnern** 246

Historisches. Kieselkörper der Podostemaceen 246
Allgemeiner Theil 253
Specieller Theil 257
Function dieser Kieselkörper 265
Stegmata 266
Historisches 267
Orchideen 276

Seite.

Specieller Theil 280
Scitamineen 284
Pandanaceen 288
Palmen 288
Specieller Theil 291
Farne 295
Physiologische Funktion der Stegmata 297
Theoretisches 299
CAPITEL VII. **Functionen der Kieselsäure in der Pflanze** . . 302
Anhang zur „Kieselsäure“ 309

Nachtrag 210
Autoren-Verzeichniss 212

EINLEITUNG.

Es ist eines der anzustrebenden Ziele der Pflanzenphysiologie, die Bedeutung eines jeden in die Pflanze aufgenommenen Elementarstoffes und einer jeden in ihr erzeugten Verbindung zu ermitteln. Der Beginn dieses Jahrhunderts bezeichnet zugleich den Anfang der eifrigsten Bemühungen, einen Weg zur einstigen Erreichung dieses Zieles anzubahnen, indem *Senebier*[1] und *Saussure*[2] (1804) ohne Zweifel als die Ersten bezeichnet werden müssen, welche es zu einer klaren Vorstellung brachten von der Bedeutung einer bestimmten Gruppe jener Elementarstoffe, nämlich der Aschenbestandtheile, von denen einige in diesem Buche behandelt werden sollen.

Es liegt nicht in meiner Absicht, hier ein historisches Bild zu entwerfen von der allmäligen Entwicklung unserer Kenntnisse über die physiologische Rolle der Mineralsubstanzen in der Pflanze, wäre doch ein solches Unternehmen nur dann denkbar und lohnend, wenn es die gesammten Nährstoffe umfasste; denn so lange die pflanzenphysiologischen Arbeiten sozusagen aus dem Stadium der Voruntersuchungen nicht herausgetreten waren, konnte naturgemäss von einer Präcision der Fragen nicht die Rede sein, es spielten immer eine ganze Reihe von Problemen in einander, weshalb es einen gewaltsamen, zu störenden Irrthümern führenden Eingriff bedeuten würde, wollte man die historische Entwicklung eines speciellen Wissensgebietes losgetrennt von den übrigen nächstverwandten, zur Darstellung bringen. In der Geschichte der Botanik von *Sachs*[3]

[1] *Senebier*, *J.* Physiologie végétale. 1800. Bd. III. p. 28 u. 45.

[2] *Saussure*, *Th. de.* Recherches chimiques. 1804. p. 261.

[3] *Sachs*, *J.* Geschichte der Botanik vom 16. Jahrhundert bis 1860. München 1875.

besitzen wir aber bereits eine wahre Fundstätte von Nachrichten über die Fortschritte auch auf Specialgebieten und andere Forscher haben seitdem werthvolle Ergänzungen und Beiträge geliefert. Ich begnüge mich deshalb hier, durch Nennung einiger Daten und Namen nur die wichtigsten Wendepunkte zu bezeichnen, welchen wir begegnen, wenn wir den Weg der Entwicklung unserer Kenntnisse von den Aschenbestandtheilen der Pflanze von *Saussure* bis heute verfolgen. Nach diesem Forscher waren es zunächst *Cadet de Cassincourt*[1] (1818), *John*[2] (1819) und *Boussingault*[3] (1837 u. 1838), welche experimentell die Unentbehrlichkeit bestimmter Aschenbestandtheile zu constatiren suchten und *Sprengel*[4] (1837 u. 1839) sprach es bereits 1838 in correcter Weise aus, dass nicht alle in der Pflanze sich findenden Aschenbestandtheile nothwendige Nährstoffe sind, und dass nur einzelne unter ihnen von specifischer Bedeutung und durch andere Elementarstoffe unersetzbar sind. Es hatte somit 1839 *Sprengel* eigentlich die Frage bereits gelöst, für deren Beantwortung ein ungenannter „Freund der Wissenschaft" 1838 der Göttinger Akademie einen Preis zur Verfügung stellte und welche ich hier nur deshalb anführen will, weil sie beweist, wie sehr die Wissenschaft damals noch in den Banden der Naturphilosophie und der Lebenskraft steckte. Sie lautete: „ob die sogenannten unorganischen Elemente, welche in der Asche der Pflanze gefunden werden, auch dann in den Pflanzen sich finden, wenn sie denselben von aussen nicht dargeboten werden; und ob jene Elemente so wesentliche Bestandtheile des vegetabilischen Organismus sind, dass dieser sie zu seiner völligen Ausbildung durchaus bedarf?" Ehe aber noch die beiden Forscher *Wiegman* und *Polstorff*[5] in der von ihnen verfassten, noch immer etwas unter dem Eindruck der Humuslehre stehenden Preisschrift (1842) die Antwort auf jene Fragen gaben, erschien 1840 *Liebig's*[6] epochemachende Schrift „Die organische Chemie in ihrer Anwen-

[1] *Cadet de Cassincourt*, Journal de pharmacie. 1818. p. 381.

[2] *John*, Ernährung der Pflanzen. 1819. p. 73.

[3] *Boussingault* (1837 und 1838) referirt in Agronomie, Chimi agricole etc. 1860. Bd. I. p. 3.

[4] *Sprengel.* 1837 Bodenkunde p. 414. 1839 Lehre vom Dünger. p. 1 ff., 351 ff.

[5] *Wiegman* und *Polstorff.* Ueber die anorganischen Bestandtheile der Pflanzen. 1842.

[6] *Liebig*, J. v. Die organische Chemie etc. 1840.

dung auf Agricultur und Physiologie". Wenn sie auch nicht direct Neues zu Tage förderte über die Nothwendigkeit und specielle Bedeutung der Aschenbestandtheile für die Pflanze, so machte sie doch mit einem Schlag der von den Chemikern und Landwirthen erdachten, von den Pflanzenphysiologen unbedachtsam acceptirten Humustheorie ein Ende, wirkte dadurch befruchtend auf die genannte Ernährungslehre und gab Anlass zu erneuten Untersuchungen. *Boussingault* setzte seine früheren Vegetationsversuche Jahre lang fort und bildete die Untersuchungsmethoden weiter aus (1851—1855) und fast um dieselbe Zeit experimentirte in Deutschland der Fürst *Salm-Horstmar*,[1] sich vorwiegend mit der Frage nach der Bedeutung der einzelnen Säuren und Basen der Asche für die Ernährung der Pflanzen beschäftigend. 1858 erinnerte *Sachs*[2] an die vergessene, aber gerade zur Entscheidung bestimmter Ernährungsfragen besonders geeignete „Wasserkultur" und trug durch ihre Anwendung viel zur Lösung mancher ernährungsphysiologischer Räthsel bei. Die Förderung unserer Kenntnisse über die uns hier besonders interessirenden Aschenbestandtheile Calcium und Kieselsäure hat die Wissenschaft einer ganzen Reihe von Forschern zu verdanken, die, geleitet von rein theoretischem oder mehr praktischem Interesse, in verschiedenster Richtung Untersuchungen unternahmen, deren Resultate die Grundlage lieferten, auf welcher sich heute das stolze Gebäude unserer Anschauungen von der Bedeutung, der anatomischen, physiologischen und biologischen Function genannter beider Stoffe erhebt.

Ueber das Calcium arbeiteten besonders: *Stohmann* (1862), *Knop* (1866), *A. Mayer* (1869), *Raulin* (1869), *Nobbe* (1870), *Boehm* (1875), *Melnikoff* (1877),[3] während mit verschiedenen auf die pflanzliche Kieselsäure sich beziehenden Fragen sich be-

---

[1] *Salm-Horstmar.* Versuche und Resultate über die Ernährung der Pflanzen. 1856.

[2] *Sachs*, Sitzungsber. d. Wien. Akad. 1858. Bd. 26, p. 231. Versuchsst. 1860. Bd. 2, p. 22 u. 224.

[3] *Stohmann.* Annal. d. Chem. u. Pharm. 1862. Bd. 121, p. 319. — *Knop.* Versuchsst. 1866. Bd. 8, p. 143. — *A. Mayer.* Unters. über die alkohol. Gährung. 1869. p. 44. — *Raulin.* Annal. des scienc. nat. 1869. V. Sér. Bd. 11, p. 224. — *Nobbe.* Versuchsst. 1870. Bd. 13, p. 323. — *Boehm.* Ueber den veget. Nährw. d. Kalksalze. Sitzungsber. d. Wien. Akad. 1875. Bd. 71. Abth. 1. — *Melnikoff.* Unters. über d. Vorkommen des kohlens. Kalkes. 1877. p. 32.

schäftigten *Crüger* (1857), *Wicke* (1861), *H. v. Mohl* (1861), *Sachs* (1862), *Knop* (1862), *Rautenberg* und *Kühn* (1864), *Birner* und *Lucanus* (1866), *Ladenburg* (1872), *Lange* (1878) und *Miliarakis* (1884).[1] Die Arbeiten aller hier zuletzt aufgeführten Forscher, sowie die in den letzten vier Jahren erschienenen sind in den verschiedenen Capiteln dieses Buches eingehend besprochen oder berührt (weshalb ich auf diese Stellen hinweise); da viele der einschlägigen Abhandlungen in dem Botaniker oft schwer zugängigen Zeitschriften publicirt sind, habe ich an passendem Orte das Wesentlichste ihres Inhalts mitgetheilt und am Schluss dieses Buches ein ausführliches, wenn auch nicht vollständiges, Verzeichniss der betreffenden Abhandlungen beigegeben.

Für die Wahl des Gegenstandes dieser meiner Schrift wirkte auf mich eine ganze Reihe von Gründen bestimmend ein, von denen der schwerwiegendste wohl der war, dass gerade die Kalksalze und die Kieselsäure die verbreitetsten Aschenbestandtheile sind und am häufigsten in fester Form in der lebenden Pflanze zur Ausscheidung gelangen und eben dadurch die Verfolgung ihrer Bahnen im Pflanzenkörper besser gestatten als die nur gelöst auftretenden Stoffe und die Frage nach ihrer Bedeutung in jeder der wechselnden Formen nahe legen. Es haben gerade diese Substanzen diesen Vorzug, nicht allein, wie die immer in Lösung befindlichen, nur an chemischen Stoffwechselprocessen Theil zu nehmen, sondern auch nach ihrer Erstarrung physikalische Funktionen zu verrichten, mit anderen Worten einen hochinteressanten Functionswechsel aufzuweisen, der anderen Stoffen abgeht. Weiter aber war es besonders verlockend, gerade das Calcium (und seine Verbindungen) als einen anerkannt unentbehrlichen Nährstoff der Pflanze mit dem zweifellos entbehrlichen Silicium (und seinen Verbindungen) in Parallele zu setzen, weil beide Elemente trotz dieser fundamentalen Verschieden-

[1] *Crüger*, *H.* Westindische Fragmente. Neuntes Fragment. El Cauto. (Bot. Ztg. 1857. p. 281. 97.) — *Wicke*. Bot. Ztg. 1862. No. 10. — *H. v. Mohl*. Bot. Ztg. 1861. p. 209. 17. 25. Bot. Ztg. 1861. p. 305—308. — *Sachs*. Flora. 1862. p. 52. u. Wochenblatt der Annalen der Landwirthsch. 1862. p. 184. — *Knop*. Versuchsst. 1862. Bd. 3. p. 176. — *Rautenberg* und *Kühn*, Versuchsstat. 1864. Bd. 6. p. 359. — *Birner* und *Lucanus*. Versuchsstat. 1866. Bd. 8, p. 141. — *Ladenburg*. Ber. d. Chem. deutsch. Ges. 1872. Bd. 5, p. 568. — *Lange*. Ber. d. Chem. deutsch. Ges. 1878. Bd. 11. — *Miliarakis*. Die Verkieselung lebender Elementarorgane bei den Pflanzen. Würzburg 1884.

heit bezüglich ihres Nährwerthes in ihren physiologischen und biologischen Leistungen weitgehende Analogien darbieten. Dass auch die sich bei der gründlichen Beschäftigung mit beiden bezeichnenden Stoffgruppen offenbarenden mancherlei Lücken in unseren Kenntnissen mich mit dem Verlangen erfüllten, sie soweit als möglich auszufüllen, mag ferner als Motiv meines Unternehmens gelten.

Ich werde an erster Stelle das Calcium und seine wichtigsten Verbindungen behandeln und sodann die Kieselsäure. Es sind damit die in der Pflanze auftretenden Ausscheidungen anorganischer Substanzen in fester Form noch nicht erschöpft, denn auch Magnesium, Eisen und Schwefel treffen wir mitunter in diesem Zustand an, ersteres meist mit Calcium vergesellschaftet als phosphorsaure Kalk-Magnesia in den Globoiden der Proteïnkörner, das Eisen als Eisenoxydhydrat, in der Substanz der Scheiden mehrerer Bacterien[1] *Crenothrix polyspora, Lepthotrix ochracea* etc.) und den Schwefel in allen *Beggiatoen* im halbflüssigen, oelartigen Zustand, indem er bei diesen nach den Untersuchungen *Winogradsky's*[2] den einzigen Athmungsstoff und seine Oxydation die einzige Energiequelle darstellt.

Allein feste Magnesium-Ausscheidungen einerseits gehören zu den seltenen Erscheinungen, was ja in der Leichtlöslichkeit der meisten seiner Salze begründet ist und Eisen und Schwefel andrerseits sind in starrer Form nur einer ganz beschränkten Zahl von pflanzlichen Organismen eigen, so dass sie sich schon dadurch vom Kalk und der Kieselsäure weit entfernen, wenn sie auch in mancher Beziehung diesen verwandt sind.

Eine hohe Bedeutung haben Eisen-, Kalk- und Kieselsäure-Verbindungen der Pflanzen besonders durch ihre Widerstandsfähigkeit und die dadurch begründete Mitwirkung bei Versteinerungsvorgängen, wesshalb sie das Interesse der Geologen und Palaeontologen in hervorragender Weise beanspruchen dürfen. Sie sind es hauptsächlich, welche gewissen Pflanzen und Pflanzentheilen eine vieltausendjährige Resistenz gegen alle zerstörenden

---

[1] *Winogradsky*, S. Ueber Eisenbacterien. (Bot. Ztg. 1888. No. 17.) — *Cohn*, F. Beiträge z. Biol. d. Pfl. Bd. I. H. 1. — *Zopf*, W. Untersuchungen über *Crenothrix polyspora*. Berlin 1879. Z. Morphologie d. Spaltpfl. Leipzig 1882.

[2] *Winogradsky*, S. Ueber Schwefelbacterien. (Bot. Ztg. 1887. No. 31—37.)

Einflüsse verliehen haben, so dass Skelette über Skeletten sich häufen konnten, um Erdschichten von oft riesigen Dimensionen zu formiren, denn ein grosser Theil der Eisenerze, die Kieselguhre, Bergmehle, Kreiden und Kreidemergel, tertiären Kalke und Dolomite etc. verdanken ihre Entstehung jenen mineralischen Einschlüssen des lebenden Pflanzenkörpers und viele der für den Palaeontologen so überaus wichtigen Leitfossilien wären ohne sie überhaupt nicht mehr vorhanden.

Dies Alles zusammengenommen, wird es gerechtfertigt erscheinen lassen, wenn ich den Kalksalzen und der Kieselsäure des lebenden pflanzlichen Organismus im Folgenden eine eingehende Behandlung zu Theil werden lasse.

ERSTER THEIL.

KALK IN DER PFLANZE.

CAPITEL I.

AUFTRETEN DES CALCIUMS IM ALLGEMEINEN.

Das Calcium gehört nach den bisherigen Erfahrungen zu den der Pflanze unentbehrlichen Aschenbestandtheilen. Abwesenheit dieses Elementes im Boden verursacht Kränklichkeit und selbst den Tod der Pflanze. Eine Ausnahme hiervon machen allein die Schimmel-, Spalt- und Sprosspilze, welche bei ihrer Ernährung eine Vertretung des Calciums durch Magnesium, Strontium oder Baryum zulassen.[1] Für die Phanerogamen hingegen wurde schon früher von *Salm-Horstmar*,[1] *Stohmann*, *Knop* und Anderen festgestellt, dass Calcium weder entbehrlich noch durch andere al kalische Erden vertretbar sei, wenigstens kann man nach bis jetzt vorliegenden Versuchen nicht von der Möglichkeit einer totalen sondern nur partiellen Vertretung des Calciums in der höheren Pflanze durch Magnesium sprechen.[2] Die Funktionen, welche das Calcium

[1] *Naegeli*. Sitzungsb. d. Bair. Akad. 5. Juli 1879. p. 340. — *A. Mayer*. Unters. über die alkohol. Gährung. 1869. p. 44. — *Raulin*. Annal. d. scienc. nat. 1869. V sér. Bd. 11, p. 224. — *Salm-Horstmar*. Vers. über d. Ernährung d. Pfl. 1856. p. 8 u. 17. *Stohmann*. Annal. der Chem. und Pharm. 1862. Bd. 121. — *Knop*. Versuchsstat. 1866. Bd. 8, p. 143.

[2] *Wolff, O.* Versuchsstat. 1868. Bd. 10, p. 370.

bei den meisten Pflanzen verrichtet, fehlen bei den genannten Pilzformen entweder oder sind durch substituirende Elemente ausführbar. Die Quantität des Calciums, welche die Pflanze zur normalen Entwicklung nöthig hat, ist meist relativ klein, nur die sogenannten „Kalkpflanzen" bedürfen grösserer Mengen dieses Elementes zu ihrer normalen Entwicklung oder nehmen mehr Calcium auf, als sie vielleicht brauchen und deponiren dasselbe in sehr verschiedener Form und an sehr verschiedenen Orten ihres Körpers. Nach neueren Untersuchungen ist es zwar geboten, die Bezeichnung „Kalkpflanze" mit Vorsicht anzuwenden, weil oft nicht die chemische Qualität des Bodens als massgebend erkannt wurde, sondern die von jener modificirte physikalische im weitesten Sinne (Erwärmbarkeit, wasserhaltende Kraft etc.) mit in's Spiel kommt und einen wesentlichen Einfluss ausübt. *H. Hoffmann*[1] leugnet auf Grund seiner langjährigen Cultur-Versuche überhaupt die Existenz von „Kalkpflanzen". Dieselben sollen nach ihm gar keine besonderen Ansprüche an grösseren Kalkgehalt des Bodens machen, vielmehr nur trockneren und wärmeren Boden verlangen, den sie gelegentlich auf chemisch sehr verschiedener Unterlage finden können. Ich bin weit davon entfernt, an der Sorgfältigkeit der Versuche *Hoffmann's* und an dem Werth seiner Resultate zu zweifeln, allein ich kann mich mit seinen Schlussfolgerungen nicht einverstanden erklären, bin vielmehr der Meinung, dass gewisse Pflanzen, welche erfahrungsgemäss viel Kalk in ihren Membranen oder sonstwo enthalten, auch erhöhte Ansprüche auf Kalk an den Boden stellen, und solche Pflanzen darf oder muss man als „Kalkpflanzen" bezeichnen. Dass es gelingt, sie auf kalkarmem Boden Generationen hindurch zu normaler Samenproduktion zu bringen, involvirt nicht, dass sie überhaupt normal entwickelt sind resp. auf die Dauer bleiben würden. Vielmehr lehren, glaube ich zahlreiche Untersuchungen, dass jede Pflanze gewisse Grenzwerthe für die aufgenommene Kalkmenge besitzt; aus langen Reihen genauer Analysen ergiebt sich, dass eine gewisse Uebereinstimmung in den Procentsätzen der Asche an Kalk bei denselben Pflanzen von verschiedenen Bodenarten existirt; so nimmt nach den Angaben von *Fliche* une *Grandau*[2]

[1] *Hoffmann, H.* Rückblick auf meine Variationsversuche von 1855 bis 1880. (Bot. Ztg. 1881. Nr. 22—27.)

[2] *Fliche* et *Grandau.* Ann. de chemie et physique. sér. V. t. 18. 1879.

Cytisus Laburnum aus Kieselboden 27,15 p. c. Kalk auf, aus Kalkboden 29,23; *Ulex europaeus* 25,97 p. c., *Sarothamnus vulgaris* 25,03; *Robinia Pseudacacia* aus Kieselboden aber 58,99 p. c. Kalk in die oberirdischen Organe auf.

Es kann also keinem Zweifel unterliegen, dass *Robinia Pseudacacia* ein auffallend starkes Kalkbedürfniss hat, mit anderen Worten kalkliebend ist und mit vollem Recht eine Kalkpflanze genannt werden darf. Anderweitige Erfahrungen zeigen aber weiter, dass eine Pflanze sich um so mehr auf kalkreichem Terrain halten kann, je höher ihre Aufnahmefähigkeit für Kalk ist. Ist letztere gering, so kann sie gleichsam den ihr aufgezwungenen Kalk nicht verarbeiten, sie flieht Kalkboden während sie im entgegengesetzten Falle sich fest an denselben heftet. Da das Calcium, wie bereits erwähnt, zu den der Pflanze unentbehrlichen Elementen gehört, so wird es von allen Pflanzen aufgenommen und eine Abgrenzung besonderer Kalkpflanzen wird stets eine künstliche sein müssen. Ueberschreitet der Kalkgehalt einer Pflanze, selbst wenn diese auf kalkarmem Boden erwachsen ist, einen gewissen, beliebig zu normirenden Werth, so können wir sie Kalkpflanze nennen. Ich greife in Folgendem eine Anzahl Pflanzen heraus, deren Gehalt an Kalk in der Reinasche regelmässig mehr als 30 p. c. beträgt, eine Menge die so sehr die von anderen Pflanzen aufgenommene übertrifft, dass man wohl berechtigt ist, die in Rede stehende Bezeichnung anzuwenden:

Pflanzen mit 30—39 p. c. Kalk in der Reinasche:

Trifolium repens 32. *hybridum* 32. *medium* 30. *incarnatum* 33.
Medicago lupulina 30.
Onobrychis sativa 35.
Brassica oleracea 38.
Sedum Telephium — 39.
Agrostemma Githago — 37.
Linaria Cymbalaria — 37.

Pflanzen mit 40 p. c. Kalk in der Reinasche und mehr:

Trifolium pratense — 43, in der Blüthezeit — 60.
Medicago sativa 40, „ „ „ — 60.
Phaseolus vulgaris — 42.
Anthyllis vulneraria 57.
Carduus acaulis — 47.
Reseda lutea — 41.

Cannabis sativa 39—61.
Nicotiana Tabacum — 52.
Juglans regia — 55. Rinde 70.
Holz von:
Vitis vinifera — 40.
Morus alba — 56.
Fagus sylvatica — 62.
Quercus Robur — 78.
Citrus Aurantium — 55.
Ephedra equisetina — 57.
Caesalpinia Sapan 78.
Tilia europaea 76.
Pyrus Amelanchier 77.
Populus fastigiata 71.

Einige Pflanzen lassen ihren Kalkreichthum nur in den Blättern erkennen, so

Daucus Carota - Blätter 35.
Urtica dioica „ 36.
Cynara scolymus „ 53.
etc. etc.

Von Süsswasserpflanzen zeichnen sich durch hohen Kalkgehalt aus:

Cladophora glomerata 59.
Chara foetida 95—96.
Nymphaea lutea — 42.
Elodea canadensis 35—53.

Die Meerstrands-Pflanzen enthalten wenig Kalk. Unter den Kryptogamen sind die Pilze, abgesehen von den Myxomyceten, am kalkärmsten. Grosse Mengen weisen oben bereits genannte Algen auf, sowie einzelne Flechten:

Cladonia rangiferina — 35.
Usnea barbata — 33.
Chlorangium Jussuffii — 64 (?).

Es ist klar, dass sich bei einer solchen Auffassung des Begriffes „Kalkpflanzen" dieser nicht deckt mit dem der „Kalkanzeiger", zu denen man auch solche Pflanzen rechnet, welche den Kalkboden lieben und deshalb besiedeln nicht wegen seiner chemischen Zusammensetzung und um ihm Kalksalze zu entnehmen, sondern um seiner physikalischen Eigenschaften willen (als Wasserhaltungsvermögen, Wärmecapacität etc.). Dagegen würden die sogenannten Gyps- und Phosphoritpflanzen mit zu den Kalkpflanzen zu zählen sein, obgleich sie auf Gyps resp. Phosphorit nicht in Folge des Kalkes, sondern des Schwefelsäure- resp. Phosphorsäuregehaltes gedeihen; allein bei ihrer Versorgung mit

genannten Säuren nehmen sie reichliche Mengen Kalkes mit auf, welchen sie irgendwo in ihrem Inneren in ansehnlicher Menge deponiren.

Im Allgemeinen treten unter den Kalk begehrenden Pflanzen am meisten hervor die *Drupaceen*, *Pomaceen*, *Rosaceen*, *Labiaten*, *Papilionaceen*, *Papaveraceen*, *Rubiaceen*, *Umbelliferen*, *Orchideen*, *Cannabineen*, *Euphorbiaceen*, ferner *Adonis*, *Anemone*, *Agrostemma Githago*, *Asarum europaeum*, *Lonicera*, *Clematis*, *Sedum*, *Convallaria* - Arten, *Paris quadrifolia*, *Rubus-Species*, *Melampyrum arvense*, *Teucrium botrys*, *Euphrasia odontites*, *Convolvulus arvensis*, und die Mehrzahl unserer Laubbäume, wie *Aesculus Hippocastanum*, *Juglans regia*, *Fagus sylvatica*, *Quercus-Arten*, *Betula alba*, *Salix alba*, *Ulmus campestris*, *Carpinus Betulus*, *Tilia europaea*, *Populus alba*, *nigra*, *tremula*, *fastigiata*, *virginiana*, *Cerasus avium* etc. Unter den *Gramineen* sind nur sehr wenige Arten Kalk begehrend: *Stipa pennata*, *Melica ciliata*, *Briza media*, *Koeleria cristata* und einige andere. „Kalkpflanzen par excellence“ treten uns in den marinen Kalkalgen entgegen, die den Kalk in solchen Massen in ihrem Körper deponiren, dass derselbe zu einem steinharten korallenartigen Gebilde wird. Weiter unten werde ich diese eigenthümlichen Kalkconsumenten und Producenten, wie man sie nennen will, einer eingehenden Besprechung unterziehen, hier sei nur erwähnt, dass sie Pflanzen sind, die ohne zu Gebote stehenden Kalk nicht zu leben vermögen. Als Landpflanzen würden diese Gewächse nicht in der Massenhaftigkeit auftreten können, in der wir sie auf dem Meeresgrunde antreffen, auf dem Lande würden sie bald dem Boden ihres Standortes allen Kalk entzogen haben; als Bewohnern des Meeres fliessen ihnen fortwährend neue Mengen ihres Lebenselementes zu und von welchen Wassermassen sie umspült werden müssen, um ihren Kalkbedarf decken zu können, geht daraus hervor, dass sie sehr häufig über 80% Kalkcarbonat[1] enthalten, während das Meerwasser in 1000 Theilen nur etwa 1,232 Theile Chlorcalcium führt.

[1] 1) z. B. *Lithothamnion ramulosum*.

$Si\ O_2$	1,91
$Al_2\ O_3$	3,61
$Fe_2\ O_3$	0,41
Mn O	Spuren
Ca O	45,88
Mg O	3,06

Die wichtigsten d. h. häufigsten und kalkreichsten Kalkalgen gehören folgenden zum Theil sehr artenreichen Gattungen an: *Melobesia*, *Lithothamnion*, *Lithophyllum*, *Peyssonelia* (p. p.), *Amphiroa*, *Corallina*, *Galaxaura*, *Liagora*, *Acetabularia*, *Halimeda*, *Cimopolia* etc.

Das Calcium gelangt, wie man nachweisen kann, bei den Landpflanzen bis in die äussersten Auszweigungen, wandert aus später anzuführenden Gründen in besonders grossen Mengen in die Blätter, und dringt bis in die äussersten Haarspitzen ein. Wir werden es demgemäss, wenn auch meist in geringer Menge im Zellsaft wiederfinden und zwar zunächsst in den Salzen, in welchen es von der Pflanzenwurzel dem Boden entnommen wird, als Phosphat, Sulfat oder Nitrat. Ist es als eines dieser Salze in grossen Mengen gelöst in Zellen enthalten, so genügt oft einfaches Einlegen der betreffenden Pflanzentheile in Alkohol um eine Ausscheidung in fester Form herbeizuführen. In Alkohol aufbewahrte Knollen von *Dahlia variabilis*,[1] Stengeltheile von fleischigen *Euphorbien*, Wedelstiele von *Angiopteris evecta* und *Marattia cicutaefolia*[2] etc. (vide p. Abschnitt III Calciumphosphat) zeigen auf Schnitten massenhaft Sphaerite von Calciumphosphat, jene ausserdem noch solche vom Sulfat. Kleine tafelförmige Krystalle von Calciumsulfat gelangen zur Ausscheidung bei gleicher Behandlung von Stengelstücken des Zuckerrohrs;[2] in vielen Fällen ist das Calcium durch Magnesium vertreten und man findet dann Ausfällungen von Magnesiumphosphat etc. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass auch noch viele andere lösliche Calciumverbindungen in der Pflanze

---

CO_2	39.41
Org. Subst. + H_2O	5,57
	99,85

also 81,93 Ca CO_3

vide *Walther;* Die Gestein bildenden Kalkalgen des Golfs etc.

2) nach *Marcet* in 1000 Theilen Seewasser

26,6 Na Cl
4,66 Na_2 SO_4
1,232 Ca Cl_2
5,154 Mg Cl
Spuren KCl, K_2 SO_4, Na J etc.

[1] *Leitgeb*, *H.* Ueber Sphaerite. (Mitth. aus dem bot. Institute in Graz. H. 2. 1888. p. 255 ff.)

[2] *Hansen*, *A.* Ueber Sphaerokrystalle. Arbeiten aus dem bot. Institut in Würzburg. Bd. III. p. 92—122.)

existiren, doch treten sie in ihrer Quantität so sehr hinter den obengenannten zurück, dass sie hier eine ausführlichere Behandlung nicht erfahren sollen. Eine eingehendere Berücksichtigung verdienen jedoch die löslichen Kohlehydrat-Kalk-Verbindungen, welche sicher eine wichtige Rolle im Stoffwechsel der Pflanze spielen. Auf sie komme ich an anderer Stelle zurück. In relativ bedeutend grösseren Mengen wird das Calcium bei der Mehrzahl der Pflanzen im Lauf ihrer Entwicklung in fester Form ausgeschieden, entweder im Zellinnern oder in der Zellmembran. Auf dem Wege von den Wurzeln bis zu den Blättern erleiden die Kalksalze des Bodenwassers die mannigfaltigsten Umsetzungen, so dass wir eine stattliche Reihe von Calciumverbindungen aufzuzählen hätten, wollten wir alle diejenigen namhaft machen, welche gelöst oder in fester Form, einen integrirenden Bestandtheil des Pflanzenleibs bilden. In erster Linie ist es der oxalsaure Kalk, welcher uns in den wechselndsten Gestalten, im Inhalte der Zelle oder der Zellmembran einverleibt, häufig und meist in grosser Menge entgegentritt. Er unterscheidet sich vom kohlensauren Kalke pflanzenanatomisch wesentlich dadurch, dass er nirgends in unsichtbarer Feinheit, sondern immer in Form wahrnehmbarer Partikeln vorhanden ist, wogegen das Kalkcarbonat vorwiegend in denkbar feinster Vertheilung Membranen incrustirend den Blicken des Beobachters sich entzieht und sich allein dadurch verräth, dass es auf Säurezusatz zur Bildung von Kohlensäuregas Veranlassung giebt. Verhältnissmässig selten begegnen wir diesem Salz als geformter Auflagerung oder als gestaltetem Inhaltskörper.

Nicht jede scheinbar kalkfreie Membran, welche sich bei chemischer Untersuchung als mehr oder minder reich an Kalk erweist, ist mit Calciumcarbonat incrustirt; es existirt eine Form des Kalkes, in welcher er in Zellhäuten reichlich enthalten sein kann, ohne dass wir ihn bisher anders als in der Asche, nach Entfernung der organischen Substanz zu entdecken vermochten. Ob es sich dabei um eine Verbindung von Cellulose und Kalk oder um ein anderes organisches Kalksalz, oder um ein solches ohne organische Componente handelt, war bis dato unbekannt und wenn es auch mir noch nicht gelungen ist, zu erforschen, als welches chemische Individuum dieser Kalk der Zellhaut incorporirt ist, so bin ich doch in der Lage, eine Anzahl von Thatsachen mitzutheilen, welche eine endliche Lösung dieser und damit zusammenhängender Fragen herbeiführen können.

Wenn man nämlich Membranen, welche Kalk, aber nicht als Carbonat, enthalten, nach sorgfältigem Waschen mit destillirtem Wassen, um alle löslichen etwa aus dem Zellinhalte stammenden Kalksalze zu entfernen, mit Salzsäure oder Salpetersäure schwach erwärmt, so geht eine nicht unbeträchtliche Menge Kalkes in Lösung über und lässt sich als hexagonales Calciumchlorid oder in Form der bekannten Gypsnadeln oder als Kalkoxalat mikroskopisch leicht und sicher nachweisen. Bei jener vorsichtigen Säurebehandlung bleibt die Cellulose unverändert. Wasser, auch wenn es kochend lange Zeit einwirkt, vermag keine Spur Kalk auszuziehen. Es kann demnach diese Substanz nicht, wie man anzunehmen geneigt war, als feste Celluloseverbindung vorhanden sein, sondern nur in Form einer durch Säuren leicht zersetzbaren resp. in diesen löslichen, in Wasser aber unlöslichen Verbindung. Für jene Annahme sprachen zwei Erscheinungen. Erstens sollten nach den Untersuchungen von *Heinrich*[1] Calcium und Cellulose stets in einem constanten Verhältniss in der Pflanzenmembran angetroffen werden, und zweitens wollte *Lange*[2] die Thatsache constatirt haben, dass der Aschengehalt der Cellulose durch wiederholtes Lösen der letzteren in Kupferoxydammoniak, Fällen und Auswaschen sich nicht merklich vermindere, somit die Cellulose dauernd und fest mit Mineralsubstanzen (in erster Linie Kieselsäure und Kalksalze) verbunden sei.

Heinrich's Behauptung mag nun auf eine beschränkte Zahl von Fällen passen, für die Mehrzahl von mir untersuchten Membranen war sie jedenfalls nicht anwendbar und verliert dadurch jeden Werth. Auch die von *Lange* aufgefundene Thatsache musste auf einer Täuschung beruhen, denn die leichte Löslichkeit des incrustirenden Kalkes passt keineswegs zu seiner Vorstellung. Wohl aber ist es wahrscheinlich, dass bei der Fällung der Cellulose Mineralsubstanzen mit niedergerissen werden, ohne dass beide gegenseitig verbunden zu sein brauchen, eine Erscheinung, die jedem Chemiker etwas Altes ist.

Von der von *Melnikoff*[3] in den jugendlichen Cystolithen

---

[1] *Heinrich*, *R.* Jahresber. d. Agr. Chem. 1870–72. Bd. II, p. 121 u. 1879 p. 256.

[2] *Lange*, *W.* Ueber die Natur der in den Pflanzen vorkommenden Siliciumverbindungen. (Ber. d. Deutsch. chem. Ges. 1878. p. 822.)

[3] *Melnikoff*, *P.* Untersuchungen über das Vorkommen des kohlens. Kalks in Pflanzen. In.-Diss. Bonn. 1877.

postulirten Kalkverbindung weicht die uns vorliegende durch ihr Verhalten gegen Wasser ab, denn jene soll sich nach *Melnikoff* in kaltem Wasser allmählig vollkommen lösen, was diese niemals thut. Die Kalkverbindung junger Cystolithen, welche sozusagen eine Vorstufe für das Kalkcarbonat darstellt, ist aber keineswegs, wie *Pfeffer*[1] nach den Untersuchungen *Melnikoff's* für möglich erklärt, indem er sagt „Vielleicht handelt es sich hier um eine Verbindung von Calcium mit Cellulose oder anderen Kohlehydraten,[2] eine organische Kalkverbindung, denn es ist mir nicht gelungen, in ihr, nachdem ich sie ausgezogen, einen organischen Rest nachzuweisen. Ich komme auf diesen Punkt im Capitel über Cystolithen zurück. Soviel aber scheint mir aus meinen Beobachtungen mit Sicherheit hervorzugehen, dass erstens die Kalkverbindung, welche der (nicht durch das kohlensaure Salz) verkalkten Membran incorporirt ist, nicht eine solche mit Cellulose oder einem anderen Kohlehydrate sein kann, dass sie ferner sich auszeichnet durch eine auffallende Leichtlöslichkeit in Mineralsäuren, dass sie aber nicht identificirt werden darf mit der von *Melnikoff* in jungen Cystolithen aufgefundenen. Der Gedanke[3] das Calcium könne bei der Bildung der Zellhaut selbst irgend eine Rolle spielen, steht mit den erörterten Thatsachen nicht in Einklang, wohl aber letztere mit der Erscheinung, dass der Kalkgehalt der Cellulose ein überaus variabeler sein kann.

CAPITEL II.

KALKSALZE.

ABSCHNITT I.

CALCIUMOXALAT.

Der oxalsaure Kalk ist dimorph. Seine Krystalle gehören, auch innerhalb der Pflanze, entweder dem tetragonalen (quadratischen) oder dem monoclinen (klinorhombischen) System an, je

---

[1] *Pfeffer, W.* Pflanzenphysiologie. Bd. I. p. 259.

[2] *Sachse.* Chemie und Phys. der Farbstoffe etc. 1877. p. 140. — *Weiske.* Versuchsstat. 1876. Bd. 19. p. 155.

[3] *Pfeffer*, W. l. c. p. 260.

nachdem sie sechs oder nur zwei Aequivalente Krystallwasser enthalten. Die Einzelkrystalle, in welchen er in der Pflanze auftritt, sind im Wesentlichen folgende Formen:

TETRAGONALE FORMEN.

Fig. I u. XIX. (Taf. I.) P. Tetragonale Pyramide.

Fig. II. P. mP∞.
Combination von Proto- und Deuteropyramide.

Fig. III. P. P∞.
Combination von Proto- und Deuteropyramide.

Fig. IV. Unvollständig ausgebildete Pyramide.

Fig. V. P. ∞P.
Combination von Prisma und Pyramide.

Fig. VI. 1—10. Ebenfalls Combinationen von Prisma und Pyramide, aber mit nur theilweiser Ausbildung der Pyramide.
1 mit nur einer Fläche jeder Endpyramide.
2 und 3 mit 3 in verschiedenem Grade ausgebildeten Flächen jeder Endpyramide.
4, 5, 6 und 7 mit 4 ungleichartig ausgebildeten Flächen der Endpyramiden.
8 und 9 nadelförmig ausgebildete Combination ∞P. P.
10, häufig vorkommende Form mit sich einseitig verjüngendem Prisma.

Fig. VII u. IX. Dieselbe Form mit Pinakoid oP, auf einer Prismenseite ruhend.

Fig. VIII. Form wie VII, aber auf oP ruhend.

Fig. X. ∞P. P. mP.
Combination von Prisma und zwei Protopyramiden.

Fig. XI. ∞P. oP. Säulenförmig.

Fig. XII. Dieselbe Form, tafelförmig.

Fig. XIII. oP. ∞Pn.
Combination von Pinakoid und ditetragonalem Prisma.

Fig. XIV. ∞P. P. oP.
Combination von Prisma, Pyramide und Pinakoid.

Fig. XV. Dieselbe Form, auf einer Prismenfläche ruhend.

Fig. XVI. Penetration zweier Pyramiden a. Ansicht rechtwinklig zur vorigen.

Fig. XVII. Penetration zweier Pyramiden mit ∞P∞-Flächen. (Deuteroprisma.)

Fig. XVIII. a, b, c. Verschiedene Durchdringungsformen.
a u. b von 2 Pyramiden. a Proto- u. Deuteropyramide.
c von 3 Pyramiden. Proto-, Deutero- und Tritopyramide.

MONOCLINE FORMEN.

Fig. 1. oP. ∞P. ∞P∞.
Combination von Basopinakoid, Prisma, Orthopinakoid und Klinopinakoid.

Fig. 2, 2* und 3. oP. ∞P.
Combination von Prisma und Basopinakoid. *Hendyoëder*, Grundform zahlreicher monocliner Krystalle und zwar mit den Winkelwerthen: spitzer Prismenwinkel = 74° 50'
Neigung des Pinakoids zur Seitenfläche . . = 101° 41'

Fig. 4 a, b, c. Zwillingskrystalle von oP. ∞P. Zwillingsebene: Basopinakoid. 4 c und 19 f die Ansichten dieser Zwillinge beim Ruhen auf den Flächen ∞P oder oP.

Fig. 5 a, b und c. ∞P . oP +P.
Combination des Hendyoëders ∞P. oP mit der positiven Hemipyramide +P, welche die hinteren oberen und vorderen unteren Hendyoëder-Kanten abstumpft. Von a bis c steigt die Ausbildungsintensität der positiven Hemipyramide.

Fig. 5 d, e und f.
Zwillingsformen aus zwei Exemplaren der oben genannten Combination. Zwillingsebene bei allen drei: Basopinakoid.
(Alle vom Hendyoëder abgeleiteten Formen und die hier skizzirten Zwillinge sind sehr schön ausgebildet bei *Hedychium Gardnerianum* zu finden.)

Fig. 6. oP. ∞P∞. ∞P∞.
Combination der drei Pinakoide. $< \varrho = 90°$ erscheint beim Ruhen auf der Kante a wie Fig. 19 g, auf ∞P∞ wie 19 f und i, auf der Fläche ∞P∞ wie 19 l.

Fig. 6*. Dieselbe Combination mit bevorzugter Ausbildung in der Richtung der Hauptachse.

Fig. 7 und 8. ∞P. oP. + mP∞.
Combination von Prisma, Basopinakoid und positivem Hemiorthodoma. 7 ruht auf einer Prismenfläche, 8 a auf einer Prismenkante. 8 b, 8 c und 8 d sind Formen derselben

Combination, bei welchen die Flächen der Grundformen nahezu im Gleichgewicht ausgebildet sind.

Fig. 9 erscheint als eine unvollständige Ausbildungsform bisweilen.

Fig. 10. — m$\breve{P}\infty$, + m$\breve{P}\infty$, $\infty\breve{P}\infty$.

Combination von positivem und negativem Hemiorthodoma und Klinopinakoid, erscheint aus einer Domenfläche ruhend wie Fig. 11.

Fig. 12. Combination oP. $\infty\breve{P}\infty$. $\infty\breve{P}\infty$, prismenartig ausgebildet.

Fig. 13. ∞P. oP. $\infty\breve{P}\infty$.

Hendyoëder, an dem das nur einseitig ausgebildete Klinopinakoid eine Prismenkante abgestumpft hat.

Fig. 14 a und b. ∞P. oP. $\infty\breve{P}\infty$.

Hendyoëder mit durch Klinopinakoid abgestumpften Prismenkanten, zum Theil auf dem Klinopinakoid ruhend, zum Theil (2. Figur von 14 b) auf dem Basopinakoid.

Fig. 15 a und b. Zwillingsformen der vorigen Combination. Zwillingsebene oP. 15 a lang säulenförmig, 15 b kurz ausgebildet.

Fig. 16 a. ∞P. $\infty\breve{P}\infty$. —P.

Combination aus Prisma, Klinopinakoid und negativer Hemipyramide: auf $\infty\breve{P}\infty$ ruhend.

Fig. 16 b. Zwilling der vorigen Combination. Zwillingsebene: Orthopinakoid.

Fig. 17 und 18. Zwillingsbildungen, welche häufig bei künstlicher Calciumoxalatfällung auftreten, erscheinen oft wie Fig. 19 b und c.

Fig. 19 b, e, f, g, h, i, k, l sind oben bereits erklärt. a und d sind nicht vollkommen scharf ausgebildete Zwillinge mit abgerundeten Ecken, die häufig beobachtet werden, wenn auch meist winzig klein. In Fig. 20 a und b sind diese Formen etwas grösser und mit scharfen Contouren wiedergegeben.

(20 b. Zwilling aus der Epidermis der Blattoberseite von *Dracaena reflexa*.)

(20 c. Zwilling aus dem Blatt von *Dracaena fragrans*, während 20 a leicht künstlich zu erhalten ist.)

Fig. 39 a—h sind eigenthümliche Formen aus verschiedenen Theilen der *Periploca graeca*, monocline Solitäre (c d f g) oder Zwillinge (a b e), die durch charakteristische concave

Ausbildung einzelner Flächen merkwürdige Spulen-Form angenommen haben und neben gewöhnlichen Formen in Krystallschläuchen neben einander liegen, wie in h dargestellt ist.

Neben diesen Einzelkrystallen und Zwillingsbildungen des Calciumoxalats begegnen wie diesem Salz in der Pflanze noch häufig in der Form von Drusen, seltener nimmt es innerhalb der Pflanze die Gestalt von Sphaeriten an oder erscheint kryptokrystallinisch als feiner Staub oder Sand.

Innerhalb ein und derselben Zelle pflegen für gewöhnlich nur Krystalle desselben Krystallsystems ausgeschieden zu werden, doch kommt vereinzelt der Fall vor, dass auch verschiedenen Krystallsystemen angehörige Formen nebeneinander entstehen, z. B. bei verschiedenen *Cereus*-Arten, bei denen tetragonale und monocline Krystalle neben Sphaeriten in einer Zelle liegen. Auch bei vielen *Acanthaceen*[1] kann man in der Epidermis sowohl, als in anderen Geweben Krystalle verschiedener Systeme in denselben Zellen neben einander finden, doch gehören diese Vorkommnisse immerhin zu den Seltenheiten. Zwei derselben habe ich in den Figg. 30 und 31 Taf. I abgebildet. Fig. 30 ist eine Zelle aus dem Grundgewebe des Stengels von *Cereus nyctigalus* mit tetragonalen Solitären neben monoclinen Rhaphiden und einem Sphaerit, Fig. 31 eine Gruppe von zwei tetragonalen Einzelkrystallen und einem Sphaerit aus dem Grundgewebe von *Phyllocactus grandis*.

OPTISCHES VERHALTEN DES OXALSAUREN KALKES:

A. der tetragonalen Krystalle.

Tetragonale Prismen erscheinen im Polarisationsmikroskop bei gekreuzten Nicols dann dunkel, wenn die Achsen in den Schwingungsebenen der Nicols liegen, gefärbt, grau bis orange je nach ihrer Dicke, wenn die Achsen mit den Schwingungsebenen der Nicols einen Winkel von 45° bilden. Die Farbe der Krystalle liegt zwischen Gelb und Orange I. bei einer Dicke des Krystalls von 0,0137 μ (wozu beim Gypsplättchen eine Dicke von 0,0437 μ gehört). Krystalle von geringerer Dicke erscheinen über Roth I

[1] *Weiss, A.* Ueber ein eigenthümliches Vorkommen von Kalkoxalatmassen in der Oberhaut der Organe einiger Acanthaceen (Sitzber. der math.-naturw. Cl. d. Wien. Akad. d. Wiss. Bd. 90. Abth. I, p. 79—91.)

blau oder gelb, je nachdem die Hauptachse mit der gleichnamigen oder ungleichnamigen Elasticitätsachse des Gypses zusammenfällt. Der tetragonale oxalsaure Kalk zeigt also dieselben Farben, wie ein 3,2 mal so dickes Gypsblättchen. Die Dichtigkeit des Aethers in der Richtung der Hauptachse ist geringer als in der zu derselben senkrechten Ebene, der tetragonale oxalsaure Kalk ist demnach optisch negativ.

B. der monoclinen Krystalle.

Das monocline Kalkoxalat verhält sich selbstredend optisch wesentlich anders; es zeigt bei geringer Dicke schon sehr lebhafte Farben. Auf klinodiagonaler Fläche ruhende Krystalle erscheinen dunkel im Polarisationsmikroskop, wenn die Klinopinakoid-Endfläche zu einer der Schwingungsebenen der Nicols parallel ist, lebhaft gefärbt dagegen, wenn Endfläche und Schwingungsebene der Nicols einen Winkel von 45° mit einander bilden. Die Schwingungsebenen sind daher parallel der Klinopinakoid-Endfläche und einer auf ihr senkrechten Ebene. Bei Entfernung der klinodiagonalen Flächen von einander von 0,016 μ erscheinen die Krystalle pupurcarmin-violettgrau III, bei einer Dicke

von 0,0108 μ indigoblau III.
„ 0,0122 „ blau und grünlich III.
„ 0,0137 „ grün und grünlichgelb III.

(Zu letztgenannter Farbe ist beim Gyps eine Dicke von 0,161 μ nöthig, also ein Gypsplättchen von 11,7 mal grösserer Dicke.)

Die Dichtigkeit des Aethers ist in der klinodiagonalen Achse geringer als in der dazu senkrechten Achse. Auf der Klinopinakoid-Endfläche liegende Krystalle besitzen eine noch stärkere doppelte Brechung; sie erscheinen bei gekreuzten Nicols dunkel, wenn die Klinodiagonale parallel zu der Schwingungsebene der Nicols liegt. Die Schwingungsebenen sind also parallel der klinodiagonalen und der orthodiagonalen Achse. Die Dichtigkeit des Aethers ist in der Richtung der orthodiagonalen Achse grösser als in der Richtung der klinodiagonalen. In Bezug auf die Färbung der Krystalle bei verschiedener Dicke herrschen folgende Beziehungen.

Bei Entfernung der Endflächen oder einer Dicke des Krystalls von	liegt die Farbe des Krystalls zwischen
0,005 μ	Grüngelb und gelb II.
0,0137 „	Roth IV und Grünlichblau V.
0,009 „	Purpurcarmin und Violett III.

(Zu letzterer Färbung brauchen Gypsplättchen eine Dicke von 0,188, also 21 mal grössere Dicke.)

C. der Drusen.

Monocline Drusen leuchten bei gekreuzten Nicols in bunten Farben stark auf, tetragonale nur in einzelnen Partien und schwach.

D. der Sphaerite.

Sphaerite sah ich zwischen gekreuzten Nicols immer hell, oft farbig aufleuchten; meist aber nicht immer, erscheint ein dunkles Kreuz.

Wann die Formen des einen Systems in der Pflanzenzelle zur Ausbildung gelangen und wann die des anderen: unter welchen Bedingungen Solitäre, unter welchen Drusen oder Sphaerite oder feinkörnige kryptokrystallinische Oxalatmassen auftreten, wissen wir noch nicht mit Bestimmtheit zu sagen. Aufklärung darüber können wir allein vom Studium der Bedingungen, unter denen sich künstliche Krystalle dieser Substanz in der einen oder anderen Form erzeugen lassen, erwarten.

Die diesbezüglichen Untersuchungen sind noch ziemlich spärlich. Im Jahre 1856 theilten *A. Souchay* und *E. Lenssen*[1] mit, dass nach ihren Untersuchungen bei rascher Bildung Kalkoxalat mit zwei Aequivalenten Krystallwasser, bei langsamer Ausscheidung solches mit sechs entsteht. Leider unterliessen es die genannten Forscher, genaue krystallographische Bestimmungen vorzunehmen und mussten ausserdem zugeben, dass beiderlei Modificationen in derselben Mutterlauge nebeneinander zur Ausscheidung gelangen können. Letztere Erfahrung machte auch *Vesque*.[2]

---

[1] *A. Souchay* und *E. Lenssen*. Ueber die Oxalate der Alkalien und alkalischen Erden. (Annal. der Chem. u. Pharm. von Wöhler, Liebig und Kopp. Bd. C. 1856. p. 322.)

[2] *Vesque*. Observations sur les cristaux d'oxalate de chaux contenus dans les plantes et sur leur reproduction artificielle. (Ann. des sc. nat. Vme série. t. 19. 1874. p. 305.)

Nach *Haushofer*[1] krystallisirt das Salz tetragonal aus verdünnten, ammoniaksalzhaltigen neutralen oder alkalischen Lösungen von Calcium bei gewöhnlicher Temperatur, monoclin bei Gegenwart von etwas freier Salzsäure und überschüssiger Oxalsäure und aus kochend heissen Lösungen.

L. Kny[2] hat in neuester Zeit eine Anzahl von geschickten Versuchen angestellt, um über die Bedingungen, unter denen sich das Salz in der einen oder anderen Krystallform niederschlägt, klar zu werden. Er erkannte, dass die von *Lenssen* und *Souchay* ausgesprochene Ansicht in allgemeiner Fassung nicht richtig sei, da unter Umständen zuerst Quadrat-Octaëder und darnach neben diesen auch monocline Krystalle sich ausschieden.

Weiter gelangte er zu der Ueberzeugung, dass weder die saure noch die alkalische Reaction der Mutterlauge von wesentlichem Einflusse auf den Wassergehalt der Krystalle sei, dass dagegen der relative Concentrationsgrad der beiden Lösungen, durch deren Zusammentreffen die Bildung der Kalkoxalatkrystalle bedingt wird, wenn nicht von ausschliesslicher, so doch von erheblicher Bedeutung ist. Bei Ueberschuss von Oxalsäure gehören die Krystalle dem monoclinen, bei Ueberschuss der Calciumverbindungen dem tetragonalen Systeme an. Das frühzeitige Auftreten der Quadrat-Octaëder beruht nach *Kny* auf dem rascheren Diffundiren des Chlorcalciums, durch welches bewirkt wird, dass am Punkte des ersten Zusammentreffens Chlorcalcium in grösserer Menge zur Stelle ist, womit auch die Thatsache zusammenhängt, dass später tetragonale Krystalle nur auf der Chlorcalcium-Seite des Objectträgers, am zahlreichsten gegen dessen Ende hin, entstehen, am Ende der Oxalsäure-Seite aber vollständig fehlen.

Um mir eine Meinung über den Werth der so weit von einander abweichenden Anschauungen bilden zu können, habe ich von Neuem zahlreiche Versuche über künstliche Kalkoxalatbildung angestellt und zwar unter Anwendung von Lösungen von Chlorcalcium, salpetersaurem Kalk und schwefelsaurem Kalk auf der einen Seite, Oxalsäure und oxalsaurem Kali auf der anderen Seite.

---

[1] *Haushofer;* Mikroskopische Reactionen. Braunschweig 1855. p. 35.

[2] *Kny, L.;* Ueber Krystallbildung beim Oxalat. (Ber. d. d. bot. Gesellschaft. Jahrg. V. H. 8, p. 387 ff.)

VERSUCHE MIT CALCIUMSULFAT.

Abbreviaturen:

O = Oxalsäure. $Ca\,SO_4$ = Kalksulfat. $Ca\,Cl_2$ = Chlorcalcium. $Ca\,NO_3$ = Kalknitrat. st. = stark. schw. = schwach.

concentrirte O,	concentrirtes $Ca\,SO_4$, schnell vereinigt	sauer	monocline (und tetrag. Kr.)
concentrirte O,	verdünntes $Ca\,SO_4$,	st. sauer	fast ausschliesslich monocline (wenig ganz kleine tetrag. Kr.)
verdünnte O,	verdünntes $Ca\,SO_4$,	sauer	monocline (nur wenige sehr kleine tetrag. Kr.)
concentrirtes $Ca\,SO_4$,	verdünnte O,	schwach sauer	monocline (ganz wenig tetrag.)
sehr verdünntes $Ca\,SO_4$,	sehr verdünnte O,	schw. sauer	nur kleine tetrag. Kr.
verdünntes $Ca\,SO_4$,	verdünnte O, Spur Salzsäure	sauer	nur monocline Kr.

VERSUCHE MIT CHLORCALCIUM.

concentrirte O,	verdünntes $Ca\,Cl_2$	stark sauer	nur monoclin.
concentrirte O,	Spur Salzsäure, wenig $Ca\,Cl_2$	stark sauer	„ „
sehr verdünnte O,	verdünntes $Ca\,Cl_2$	neutral	vorwiegend tetragonale Kr. (und Sphaerite)
sehr verdünnte O,	etwas concentrirteres $Ca\,Cl_2$	schw. sauer	grosse tetrag. Kr. (keine monocl. wenige Sphaerite)
concentrirtes $Ca\,Cl_2$,	verdünnte O	schw. sauer	kleine und wenige Sphaerite (grosse tetrag. Kr.)
concentrirtes $Ca\,Cl_2$,	verdünnte O	neutral	nur Sphaerite
verdünntes $Ca\,Cl_2$,	verdünnte O	neutral	Sphaerite und tetrag. Kr.
concentrirtes $Ca\,Cl_2$,	verdünnte O	schw. alkalisch	Sphaerite (sehr wenige, aber grosse tetrag. Kr.)
verdünnte O,	verdünnte $Ca\,Cl_2$ und Ammoniak	stark alkalisch	nur Sphaerite
verdünnte O,	concentr. $Ca\,Cl_2$, Spur Ammoniak	stark alkalisch	nur Sphaerite
concentrirte O,	Spur Essigsäure, verdünntes $Ca\,Cl_2$,	stark sauer	monocline Kr.
concentrirte O,	Spur Citronensäure, verdünntes $Ca\,Cl_2$,	stark sauer	monocline Kr.

VERSUCHE MIT CALCIUMNITRAT.

concentrirte O,	verdünntes Ca NO_3, Spur Salzsäure	st. sauer	monocline grosse Kr.
verdünnte O,	verdünntes Ca No_3, letzteres vermittels Fliesspapierstreifens ganz langsam zugeleitet.		nur monocline Kr.
concentr. O,	verdünntes Ca NO_3	st. sauer	vorwiegend monocl. Kr. (einzelne grosse tetrag. Kr.)
sehr verdünnte O,	concentr. Ca No_3	schwach alkalisch	vorwiegend tetragonale Kr.
concentrirtes Ca NO_3,	verdünnte O,	alkalisch	nur tetragonale Kr. und Sphaerite
verdünntes Ca NO_3,	verdünnte O,	schwach sauer	sehr kleine, aber sehr zahlreiche tetr. Kr.
verdünntes Ca NO_3,	verdünnte O, Spur Salzsäure	sauer	tetragonale Kr.
verdünntes Ca NO_3,	verdünnte O,	schwach sauer	tetragon. Kr. und Sphaerite

VERSUCHE MIT OXALSAUREM KALI.

oxalsaures Kali, Ca NO_3	stark alkalisch	grosse tetrag. Kr. und Sphaerite
oxals. Kali, verdünntes Ca NO_3, Spur Salzsäure	sauer	tetragonale Kr.
oxals. Kali, verdünntes Ca SO_4	schwach alkalisch	tetragonale Kr.
oxals. Kali, concentrirte O, Spur Salzsäure, concentrirtes Ca NO_3	stark sauer	nur monocline Kr.

Aus diesen Versuchen, die ich unter den mannigfachsten Variationen ausstellte, indem ich entweder reine wässrige Lösungen der verschiedensten Concentration ohne Weiteres zusammenbrachte, oder aber solche Lösungen in Eiweiss oder Gelatine auf Objectträgern oder in Probirröhrchen zusammentreten liess, geht für mich Folgendes hervor:

VERSUCHE MIT CHLORCALCIUM.

Monocline Krystalle entstehen vorwiegend in stark sauren Lösungen, sowohl bei Anwendung blosser Oxalsäure als auch bei Gegenwart freier Salzsäure, Essigsäure, Citronensäure.

Tetragonale Krystalle bilden sich in schwach sauren neutralen und schwach alkalischen Lösungen. Je höher die relative Concentration der Chlorcalcium-Lösung ist, um so grösser sind die tetragonalen Krystalle ausgebildet.

Spaerite entstehen sowohl in schwach sauren, als neutralen, als alkalischen Lösungen und zwar niemals in Gesellschaft von monoclinen Krystallen, neben tetragonalen Krystallen in neutralen, schwach sauren und alkalischen Mutterlaugen; ausschliesslich Sphaerite sah ich in stark alkalischer Lösung und bei Anwendung sehr verdünnter Reagentien in neutraler Lösung.

VERSUCHE MIT CALCIUMNITRAT.

Monocline Krystalle kommen zur Ausbildung in stark sauren Lösungen und bei Gegenwart freier Salzsäure,

tetragonale vorwiegend in alkalischen und sauren Lösungen und neben monoclinen Krystallen in wenigen, aber grossen Individuen in stark saurer Lösung bei Anwendung concentrirter Oxalsäure und verdünnter Calciumnitrat-Lösung.

Sphaerite sah ich immer neben tetragonalen Krystallen, nie allein, in schwach alkalischen und schwach sauren Lösungen.

VERSUCHE MIT CALCIUMSULFAT.

Monocline Krystalle herrschen vor, sind aber immer von kleinen tetragonalen Krystallen begleitet in saurer Lösung, wobei die relative Concentration der einzelnen Lösungen gar keine Rolle spielt.

Tetragonale Krystalle finden sich stets in schwach sauren

Lösungen bei Anwendung sehr verdünnter Kalksalz- und sehr verdünnter Säurelösung.

Sphaerite treten unter keinen Umständen auf.

VERSUCHE MIT OXALSAUREM KALI.

Monocline Krystalle entstehen nur bei Gegenwart freier Salzsäure und concentrirter Oxalsäure in stark saurer Lösung,

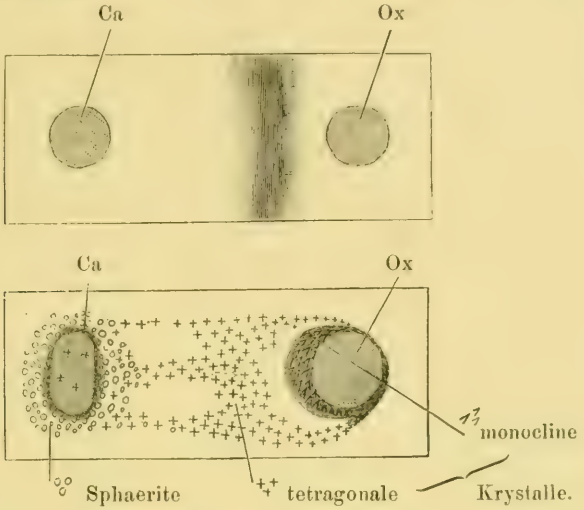
tetragonale Krystalle in saurer, schwach und stark alkalischer Lösung,

Sphaerite nur in stark alkalischer Lösung (neben grossen tetragonalen Krystallen).

Vergleicht man diese einzelnen Versuchsergebnisse miteinander, so bemerkt man sogleich, dass sich eine Menge Abweichungen geltend machen, je nach der chemischen Zusammensetzung der Kalklösungen; so wird z. B. bei Anwendung von Calciumsulfat- und Nitratlösung in stark saurer Lösung neben monoclinen Krystallen auch das tetragonale Salz gebildet, während bei Chlorcalcium nur monocline Krystalle in stark saurer Lösung ausfallen. Auffallend ist, dass aus sauren Lösungen immer auch tetragonale Krystalle sich ausscheiden können, bei Calciumnitrat sogar aus mit Salzsäure angesäuerter Lösung unter den oben angeführten sonstigen Bedingungen. In Bezug auf die Sphaerit-Bildung geht aus meinen Versuchen hervor, dass sie bei Calciumnitrat sich abscheiden stets mit tetragonalen Krystallen vergesellschaftet in schwach alkalischer und schwach saurer Lösung, bei Chlorcalcium neben tetragonalen Krystallen in neutraler, schwach saurer und schwach alkalischer Lösung, ohne tetragonale Solitäre in stark alkalischer Lösung, bei Calciumsulfat unter keinen Umständen, bei Anwendung von oxalsaurem Kali endlich neben grossen tetragonalen Krystallen in stark alkalischer Lösung.

Die Mehrzahl der obigen Resultate ergeben sich bei schneller Vermischung von Säure- und Kalksalzlösung; lässt man auf gelatinirten oder mit Eiweiss überzogenen Objectträgern Oxalsäure- und Kalksalzlösungen langsam zu einander hin diffundiren, so erhält man meist dasselbe Resultat, nemlich die Bildung aller drei Formen des Kalkoxalats, weil eben an den verschiedenen Orten verschiedene Bedingungen vorliegen. Es bestätigt sich dann, was *Kny* bereits fand, dass Chlorcalcium und die Kalksalze überhaupt rascher diffundiren als die Säure, weshalb die Krystallzone stets

der Säureseite beträchtlich näher liegt als der Calciumseite; ferner, dass auf der Kalkseite tetragonale, auf der Säureseite monocline Krystalle sich finden.



Allein es ist sicher, dass auch bei dieser Versuchsanstellung jene Unterschiede in dem Verhalten der verschiedenen Kalksalze in die Erscheinung treten, nur kommen sie weniger deutlich zum Ausdruck oder können weniger scharf controllirt werden. Da aber die Anwesenheit von eiweissartigen Stoffen für die Ausformung und das Wachsthum der Krystalle sich immer vortheilhaft erwies, stellte ich Versuche auch häufig in Probirröhren derart an, dass ich in flüssigem Eiweiss unter Schütteln die beiden Componenten zusammenführte und das Gemisch eine Zeit lang sich selbst überliess. Die Krystalle waren dann meist sehr schön ausgebildet und wuchsen zu sicher bestimmbaren Formen heran. — Der Behauptung *Kny's*, dass, wenn in Folge der Versuchsbedingungen beide Formen entstehen, erst tetragonale und dann monocline Krystalle aufzutreten pflegen, kann ich mich nicht anschliessen, da ich den Verlauf immer umgekehrt fand, zuerst monocline und dann tetragonale erscheinen sah, von denen die letzteren gewöhnlich länger fortwuchsen und stattlichere Dimensionen erreichten als jene. Temperaturunterschiede haben, soweit die Temperaturen überhaupt das Niveau der für die Pflanzen im Freien in Betracht kommenden nicht wesentlich überschreiten, keinen Einfluss auf die Krystallisation des Calciumoxalates.

Ich werde weiter unten darlegen, dass es sehr wahrscheinlich ist und viele Erscheinungen dafür sprechen, dass der Kalk beim Transport der Kohlehydrate eine bedeutungsvolle Rolle spielt und dass er, wenn jener Transport irgendwo beendet ist und eine Deposition des Kohlehydrats in fester Form als Stärke, Cellulose etc. vor sich geht, der Kalk frei und mit Oxalsäure verbunden als Kalkoxalat abgelagert wird. Es musste mich daher besonders interessiren die Formen kennen zu lernen, in welchen sich oxalsaurer Kalk ausscheidet, wenn man freie Oxalsäure auf Kohlehydrat-Kalk einwirken lässt. Dass Kohlehydrat-Lösungen grosse Mengen Kalkes aufzunehmen vermögen, ist bekannt. Rohrzucker, Traubenzucker, Dextrin etc. lösen fein zertheilten kohlensauren Kalk in ziemlich bedeutenden Mengen, besonders der Traubenzucker. Schichtet man nun auf eine solche Lösung wässrige Oxalsäurelösung und überlässt das Ganze der Ruhe, so kann man sehr bald Kalkoxalat-Krystalle, besonders an der Grenze zwischen beiden Flüssigkeiten in Menge finden. *Monier*[1] und *Vesque*[2] haben derartige Versuche bereits angestellt und Krystalle erhalten, über welche ersterer keine genaueren Angaben macht, wogegen *Vesque* sie von der Gestalt der Rhaphiden in der Pflanze beobachtet hat. Bei meinen Versuchen, die ich nach der angegebenen Methode anstellte, habe ich stets Krystalle beider Systeme erhalten; tetragonale Pyramiden und monocline Krystalle von den Formen: Fig. 1, 2, 14a u. b. Taf. I. Ohne Zweifel praevalirten in allen Versuchen die monoclinen Krystalle, welchen allerdings die Grundform der Rhaphiden eigen ist, die aber trotzdem mit diesen nicht zu vergleichen sind, da sie immer mehr in Plattenform zur Ausscheidung gelangen. Variirt man die Acidität der Flüssigkeiten, so treten dieselben Regeln in Kraft, die ich weiter vorn für die Krystallbildung unseres Salzes ausgesprochen habe. Sphaerite und Drusen habe ich niemals beobachten können.

DRUSEN.

Die Drusen sind entweder aus monoclinen oder aus tetragonalen Krystallen zusammengesetzt, und es gelingt, wenn auch nicht immer, so doch häufig, den krystallographischen Charakter ihrer Componenten zu enthüllen; jedenfalls geben darüber die

---

[1] *Monier*, Zeitschr. Chem. (2) 1. 62.

[2] *Vesque*, Compt. rend. 63. p. 1013. 78. p. 300.

ersten Jugendstadien der Drusen sicheren Aufschluss, denn in den meisten Fällen geht die Drusenbildung von einem grossen Solitär aus, an dem sich allseitig kleinere Krystalle ansetzen, die durch langsames Heranwachsen schliesslich die Grösse des ersten Krystalls erreichen. In ausgezeichnet übersichtlicher Weise kann man die Bildung tetragonaler Drusen verfolgen im Blattstiel von *Paulownia imperialis,* ferner im Grundgewebe des Stammes vieler *Cereus*-Arten. Die Ausbildung monocliner Drusen zu studiren, kann ich besonders das Fruchtfleisch von *Rosa,* ferner *Radix Rhei* und das Mark von *Bochmeria tenacissima* empfehlen. Bei *Cereus Macdonaldi* liegen, wie ich in Fig. 34 Taf. I wiedergegeben habe, den Drusen meist grosse, abgestumpfte tetragonale Prismen (∞P) zu Grunde, an deren Wänden zahlreiche kleine Prismen festsitzen. Die Drusen in den Rhabarberwurzeln nehmen ihren Ursprung meist von der Form ∞P. oP. oder ∞P. oP. mP∞, wie aus Fig. 35, der Abbildung einer jugendlichen Druse, hervorgeht, den Drusen von *Rosa* dagegen ist häufig ein Einzelkrystall der Form: ∞P., oP. oder ∞P. oP. ∞P∞ oder ein Zwilling ∞P∞. ∞P∞. —P vorgebildet, wie aus Fig. 36 ersichtlich ist. Tetragonale Drusen sind ferner oft aus einer Anzahl tetragonaler Pyramiden, welche sich nach allen Richtungen durchdringen, zusammengesetzt, und in sehr vielen Fällen sind auch die Formen I, V—X, XIV u. XV der Tafel I in den Drusen wiederzuerkennen.

Es ist nicht nothwendig zu erwähnen, dass viel mehr Krystallformen zu Drusen zusammentreten können, dass es aber nicht in meiner Absicht liegen kann, andere hier anzuführen, als solche, welche man für gewöhnlich zu Gesicht bekommt. Allein, wie ich schon oben angedeutet habe, gelingt es nicht immer, die Drusen in ihre Einzelkrystalle, wenn auch nur theoretisch, zu zergliedern, denn es ist nicht zu läugnen, dass es zwischen Drusen und Sphaeriten Uebergangsformen giebt, Formen, bei welchen nur noch auf der Aussenseite Krystallflächen ausgebildet sind, während sie im Innern mehr oder weniger ausgeprägte radialfaserige Struktur besitzen. *Moebius*[1] hat solche Uebergangsformen bereits abgebildet, die er in jungen und älteren Sprosstheilen von *Phyllocactus spec.* fand; ich gebe zwei derartige Zwischenbildungen in den Fig. 29 h *α* und *β* bildlich wieder, mit

[1] *Moebius, M.* Sphaerokrystalle von Kalkoxalat bei Cacteen. (Ber. d. D. Bot. Ges. Bd. III. p. 178 ff. 1885.)

der Bemerkung, dass der erste der beiden Körper α sozusagen den Jugendzustand des zweiten β darstellt, welcher letztere in höchst interessanter Weise die Eigenschaften von Druse und Sphaerit vereinigt. Ich habe ähnliche Sphaerit-Drusen auch unter meinen künstlich hergestellten Sphaeriten gefunden und zwei derselben in den Fig. 22 und 23 abgebildet, die auf den ersten Blick eine grosse Aehnlichkeit mit den von *Moebius* beobachteten verrathen, allein ihr Auftreten war ein relativ seltenes.

In Folge des wesentlich verschiedenen optischen Verhaltens der den beiden Systemen angehörigen Krystalle des oxalsauren Kalkes ist es leicht, auf optischem Wege die Natur der zu Drusen vereinigten Krystalle zu erkennen. Drusen aus tetragonalen Krystallen leuchten im Ganzen und in ihren Theilen zwischen den gekreuzten Nicols des Polarisationsmikroskopes nur sehr schwach auf; Drusen monoclinen Ursprungs leuchten dagegen im Ganzen und besonders an vielen Stellen der hervorragenden Spitzen sehr stark auf.

SPHAERITE.

Die Sphaerite von Kalkoxalat, welche bei meinen Versuchen in vorzüglicher Weise sich bildeten, sind meist kugelig mit deutlicher Radial-, aber sehr schwacher Tangentialstreifung, welche letztere häufiger ganz fehlt, wie es die Fig. 20 und 21 vergegenwärtigen. Meist ist eine kleine centrale Höhlung sichtbar, mitunter eine dunkle Zone etwa in der Mitte, wie bei 21. Häufig sind Formen, wie 24, 25 und 26, getheilte Sphaerite, deren Hälften entweder dicht aneinanderliegen, wie bei 24, oder nur durch einen schmalen Steg mit einander verbunden erscheinen wie in 25 und 26. In Fig. 27 erblicken wir eine Form, die, wenn auch seltener, aufzufinden ist, ohne jede Centralhöhlung mit kaum sichtbarer radialer Streifung aber deutlicher tangentialer Schichtung. Häufig sind grosse traubige Conglomerate von Sphaeriten, wie sie die Fig. 28 veranschaulichen soll, relativ selten dagegen habe ich unregelmässig begrenzte Sphaerite von der Form 22 und 23 gesehen, von denen die erste einen Krystall im Centrum, die zweite einen kugeligen Hohlraum daselbst besitzt. Im polarisirten Licht zwischen gekreuzten Nicols ist an den kugeligen Sphaeriten ein orthogonales Kreuz (Fig. 27) zu sehen, welches bei den sog. halbirten Sphaeriten in charakteristischer Weise verzerrt oder noch häufiger in zwei hyperbolische schwarze Streifen zerlegt ist.

Diese künstlich erzeugten Kalkoxalatsphaerite entstehen sicher nicht in ihrer definitiven Grösse durch Erstarren von Tropfen, wie *Hansen*[1] für die Sphaerite überhaupt annimmt, sondern sie wachsen aus oft winzig kleinen Anlagen zu stattlicher Grösse durch deutliche Schichtenauflagerung heran, wobei jeder Aenderung der Mutterlauge die Formirung einer neuen Schicht folgt, während bei auch nur annähernd constant bleibender Zusammensetzung der Mutterlauge eine einmal begonnene Schicht fortgebaut, verdickt wird.

Dieses Wachsthum der Kalkoxalatsphaerite kann man auch sehr gut beobachten, wenn man oxalsauren Kalk im Ueberschuss von Salzsäure unter Erwärmen löst und die Lösung erkalten lässt. Neben tetragonalen und monoclinen Solitären und Drusen erscheinen am Rand gewöhnlich auch Sphaerite in Masse, die, wo sie eng liegen, sich gegenseitig in der kugligen Ausbildung hemmen und polyëdrisch gestaltet sind, wo sie frei liegen, Kugelgestalt und radiärfaserige Struktur aufweisen, wie Fig. 32 Taf. I vergegenwärtigt. Bei gekreuzten Nicols sieht man schon ganz kleine dieser Sphaerite durch das dunkle Kreuz in vier helle Quadranten getheilt, ihr Lichtbrechungsvermögen nimmt bei ihrer Vergrösserung stetig zu, auch diese Kalkoxalat-Sphaerite verhalten sich demnach analog denen von Inulin und Calciumphosphat, d. h. sie vergrössern sich durch Apposition, wenn sie schon deutliche krystallinische Struktur besitzen.[2]

In dem Pflanzenkörper treffen wir Kalkoxalat-Sphaerite nicht gerade häufig an, ein Beweis dafür, dass die zu ihrer Bildung nöthigen Bedingungen nicht häufig obwalten. Zuerst fand *Höhnel*[3] im Mark der Zweige von *Terminalia Bellerica* und *paniculata* neben einfachen Krystallen und Drusen häufig Sphaerokrystalle von Kalkoxalat mit oder ohne Centralhöhle, welche das Lumen der sie enthaltenden Zellen ganz oder fast ganz erfüllten und daneben Uebergänge von vollständigen Sphaeriten zu den einfachen Drusen, so dass die Sphaerite in diesen Pflanzen nichts weiter sind, als Drusen von schmalen Krystallen, welche so lange wuchsen, bis sie die Zellwand berührten. In Fig. 30 habe ich einen Sphaerit

[1] *Hansen, A.* Ueber Sphaerokrystalle. (Arb. d. bot. Inst. in Würzburg. Bd. III. Heft 1. p. 92—123.)

[2] *Leitgeb, H.* l. c. p. 343.

[3] *Höhnel, Fr. v.* Beiträge zur Pflanzenanatomie und Physiologie. (Bot. Ztg. 1882. Nr. 11. p. 177.)

von *Terminalia Bellerica* nach der *Höhnel*'schen Abbildung wiedergegeben. In der Rinde beider Pflanzen treten nur ächte Drusen auf.

Die Familie der *Cacteen*[1] ist es besonders, deren Vertreter in bestimmten Geweben Sphaerite enthalten, die den von mir künstlich erzeugten mitunter vollständig gleichen, bisweilen aber auch in mancher Hinsicht von letzteren abweichen. Die Sphaerite der *Cacteen* sind meist von kugliger oder ellipsoidischer Gestalt, ihr Durchmesser schwankt zwischen 0,0125 und 0,02 μ und sie ähneln ausserordentlich den in den Mycelhyphen von *Phallus caninus* enthaltenen Kalkoxalatabsonderungen. Mitunter gleichen die Sphaerite zusammengesetzten Stärkekörnern, indem sie mehrere Kerne enthalten, um die sich äussere Schichten lagern.

Die in den Spitzen der Mamillen von *Mamillaria Willdiana Otto v. R.* gefundenen Sphaerite erscheinen aus mehreren Theilen zusammengesetzt, ohne dass sie in dieselben wirklich zerfielen, mit deutlicher Strahlung aber äusserst schwacher Schichtung mit der Maximalgrösse des längsten Durchmessers von 0,04 μ. Sie gleichen also auffallend den in der Fig. 28 abgebildeten Sphaeriten, welche ich in schwach alkalischer Lösung bei Ueberschuss von Chlorcalcium erhielt. Die Mamillenspitzen von *Mamillaria macrothele* enthalten mit tetragonalen Solitären vergesellschaftete Sphaerite mit sehr schöner radialer Streifung (Fig. 29 a) und daneben solche ohne jede Spur einer solchen, aber mit ausgeprägter tangentialer Schichtung (Fig. 29 b). Im Stamme von *Cereus rostratus* und *Epiphyllum spec.* sind die Sphaerite mitunter polygonal abgeplattet (Fig. 29 d), in dem von *Cereus nyctigalus* fand ich neben Sphaeriten mit deutlicher Radialfaserung noch solche, denen sowohl diese als auch die Tangentialschichtung fehlte; interessant ist, dass bei dieser Pflanze die Sphaerite oft neben grossen tetragonalen Pyramiden (resp. Prisma mit Pyramide) und monoclinen Krystallen der verschiedensten Form in ein und derselben Zelle anzutreffen sind. Ganz dasselbe Zusammentreffen beobachtete ich bei *Phyllocactus grandis* (Fig. 31) und nicht selten gesellen sich noch Drusen den obengenannten Erscheinungsformen bei beiden Pflanzen hinzu. *Möbius* beobachtete besonders schöne Sphaerite in jungen Sprossen eines *Psyllocactus spec.*-Exemplars mit strahligem Bau, abwechselnd

[1] *Möbius, M.* Sphaerokrystalle von Kalkoxalat bei Cacteen. (Ber. d. D. Bot. Ges. Bd. III. p. 178 ff. 1885.)

helleren oder dunkleren mehr oder weniger genau concentrisch um einen inneren Kern gelagerten Schichten (Fig. 29 e) und häufig auch solche, die einigermassen an zusammengesetzte Stärkekörner erinnern, insofern sie mehrere Kerne enthalten, um welche sich die peripheren Schichten lagern (Fig. 29 f.). In den Wurzeln von *Cereus*-Arten *(Cereus rostratus)* fand er nicht selten Sphaerite, die den noch zu erwähnenden von *Hegelmaier* ähnlich waren, radialfaserig, ohne concentrische Schichtung und mit centraler Höhlung (Fig. 29 g).

Bezüglich des Ortes, an dem man die Kalkoxalat-Sphaerite bei den Cacteen deponirt findet, scheinen mancherlei Verschiedenheiten zu herrschen. Vielfach, so bei *Mamillaria macrothele* enthalten zahlreiche Collenchymzellen neben Solitären Sphaerite, bei anderen Gattungen sind es andere Grundgewebszellen, welche das Oxalat führen, auch in Wurzeln verschiedener Cereus-Species ist der Ort des Auftretens der Sphaerite nicht constant, wenn sie auch da am häufigsten im Mark ausgeschieden werden.

Die Sphaerite scheinen auch in den Pflanzen, wo man sie gewöhnlich findet, bisweilen zu fehlen; so war es nicht möglich, in dem Exemplar von *Mamillaria Wildiana* des Marburger botanischen Gartens Sphaerite zu finden, was in einem anderen Exemplar mit Leichtigkeit gelang. Sphaeritfrei sind nach meinen bisherigen Untersuchungen: *Cereus grandiflorus*, *C. flagelliformis*, *Epiphyllum truncatum*, *Echinocereus denudatus*, *E. caespitosus*, *Mamillaria Zuccariana*.

Hegelmaier[1] fand Oxalatsphaerite früher in den Samenhäuten der Caryophyllaceae *Elisanthe noctiflora* und der *Silene Cucubalus* Wib., wo sie, anfangs solid, später gewöhnlich mit kleiner centraler Höhle, von welcher Zerklüftungsstreifen allseitig ausstrahlen, ziemlich häufig sind und als starklichtbrechende Gebilde von feinstrahligem Bau leicht in's Auge springen.

Weiter habe ich Kalkoxalat-Sphaerite in den Blättern von *Solenostema Arghel* gefunden.

Das optische Verhalten der Sphaerite ist keineswegs immer dasselbe. Ein Theil derselben verhält sich genau wie die kugligen künstlich erhaltenen, indem ein dunkles orthogonales Kreuz (Fig. 27) zwischen gekreuzten Nicols sichtbar wird. Bei einem anderen

---

[1] *Hegelmaier*. Ueber Bau und Entwicklung einiger Cuticulargebilde. (Pringheim's Jahrbücher. Bd. IX, p. 286.)

Theile der Sphaerite gehen die Kreuzarme in der Mitte nicht zusammen, sondern sind durch einen hellen Kreis unterbrochen; so bei *Phyllocactus spec.* wie Fig. 27 a vergegenwärtigt. Viele Sphaerite endlich leuchten im dunklen Gesichtsfeld des Polarisationsmikroskopes zwar hell auf, lassen aber überhaupt kein Kreuz erkennen und besitzen ein mehr körnig erscheinendes Gefüge, wie z. B. die Sphaerite von *Cereus nyctigalus*, einigen *Epiphyllum*-Arten etc. Auch die polygonal-abgeplatteten Sphaerite von *Cereus rostratus* und viele mit centraler Höhlung versehene von anderen Pflanzen verhalten sich denen von *C. nyctigalus* analog (siehe: Anhang).

KRYPTOKRYSTALLINISCHES KALKOXALAT.

Als kryptokrystallinisch müssen wir den oxalsauren Kalk bezeichnen, wenn wir ihn in Form winzig kleiner Körnchen antreffen, denen eine bestimmte regelmässige Form nicht, am wenigsten eine Krystallform, zugeschrieben werden kann. Mitunter erscheinen die Körnchen zwar wie kleine Tetraëder, weshalb *Vesque*[1] ihnen den Namen „sable tetraédrique" verliehen hat, allein auch diese tetraëdrische Form wird mehr geahnt als wirklich gesehen, so dass die volle Berechtigung vorhanden ist, diese Körnchen-, oder Staub- oder Sandform des Calciumoxalats von den übrigen Erscheinungsformen zu trennen. Winzige, ungleich grosse und geformte Körnchen füllen in unzählbarer Menge die sie enthaltenden Zellen in so charakteristischer Weise aus, dass eine Krystallsandzelle mit einer ächte Krystalle führenden kaum zu verwechseln ist, um so weniger, als sie bei durchfallendem Licht einen völlig schwarzen dichtkörnigen Inhalt zeigt. Krystallsandzellen sind jetzt in fast allen Geweben dicotyler Pflanzen beobachtet; bei den Monocotyledonen sind sie meines Wissens nur bei *Vallisneria spiralis* gesehen. Sie kommen vor

in der Rinde bei: *Cinchona*-Arten, *Betula verrucosa, Alnus glutinosa, Staphylea pinnata.*

in Mark und Rinde bei: *Sambucus nigra, Aucuba,* einigen *Solanaceen.*

in Blättern bei: vielen *Solanaceen* und *Amarantaceen.*

in Blatt, Mark und Rinde bei: *Solanaceen, Cotyledon* und *Sedum.*

[1] *Vesque.* Anatomie comparée de l'ecorce. p. 119.

Ueberhaupt wurden Krystallsandzellen bisher nachgewiesen bei folgenden Pflanzengattungen:

Amarantaceen: Amarantus, Lestibudetia, Bosea, Celosia, Chamissoa, Deeringia, Pupalia.

Chenopodiaceen: Salsola,[1] *Haloxylon,*[1] *Exomis, Camphorosma, Echinopsilon, Traganum, Anabasis, Ambrina.*[2]

Thymelaeaceen: Lachnaea.

Cornaceen: Aucuba.

Magnoliaceen: Liriodendron.

Crassulaceen: Cotyledon. Sedum.

Rubiaceen: Neuclea. Uncaria. Cascarilla. Cinchona. Bikkia. Portlandia. Rondeletia. Wendlandia. Mussaenda. Discospermum. Antirrhoea. Scolosanthus. Alberta. Coffea.

Solanaceen: Solanum. Acnistus. Polandra. Datura. Anthocercis. Vestia. Sarracha. Lycopersicum. Capsicum. Brugmansia. Anisodus. Atropa. Scopolia.

Illecebraceen: Gymnocarpus.

Boragineen: alle untersuchten Gattungen.

Olacineen: Gomphandra.[3]

Hydrocharideae: Vallisneria (spiralis).

Bei vielen der genannten Pflanzen-Gattungen ist das Auftreten des Krystallsandes constant und allen Arten eigenthümlich, bei anderen nicht oder nur für einzelne Arten. Mitunter ist der Krystallsand die einzige Form, in der das Calciumoxalat in einer betreffenden Pflanze erscheint, mitunter ist er neben Rhaphiden, säulenförmigen Solitären etc. vorhanden (siehe: Anhang).

Oxalsaurer Kalk ist fast in allen Organen und allen Geweben der Pflanze gefunden worden, ebensowohl in Wurzeln als in Stengeln und Blättern und allen diesen Begriffen unterzuordnenden durch Metamorphose erzeugten Gebilden; ebenso im Hauptgewebe als in allen Theilen des Grund- und Stranggewebes. Ich unterlasse es, hier für alle diese Einzelfälle Beispiele anzuführen, es sind deren an anderen Stellen dieses Abschnittes in genügender

---

[1] *Gernet.* Bull. de la Soc. Impér. des natur. de Moscou. 1859. Nr. I. p. 164—187.

[2] *Regnault.* Ann. des sc. nat. Sér. 4. T. XIV. p. 133.

[3] *Solereder, H.* Ueber den systemat. Werth der Holzstruktur bei den Dicotyledonen. München 1885. p. 98.

Anzahl gegeben. Unter allen Geweben ist der Xylem-Theil des Stranggewebes jedenfalls am spärlichsten mit diesem Salz versehen, wenigstens ist Kalkoxalat in grösseren Quantitäten im Holze relativ selten, weshalb ich an dieser Stelle wenigstens einige Vorkommnisse der Art in das Gedächtniss des Lesers zurückrufen beziehungsweise einige neue mittheilen möchte. Im Holzparenchym, welches tangentiale Binden formirt oder die Gefässe umgiebt, finden wir bei folgenden Pflanzen Calciumoxalat in grösserer oder geringerer Menge: *Haematoxylon campechianum L.*, *Caesalpinia*-Arten *(C. echinata Lam. C. brasiliensis Sw.)* [*Caesalpiniaceen*], *Pterocarpus santalinus L.* [*Papilionaceae*], *Simaruba excelsa DC.* [*Simarubeae*], *Guajacum officinale L.* [*Zygophylleae*]; ganz besonders reich fand ich die Holzparenchymbinden von *Chrysobalaneen;* so sind die Prosenchymfasern des Holzes von *Chrysobalanus Icaco* besetzt mit Krystallzellen, genau so gestaltet und mit einem grossen Solitär erfüllt wie die Deckzellen am Hartbast der *Pandanus*-Arten. In langen Zügen finden sie sich da, wo die Parenchymbinden an die Holzfaserpartieen angrenzen. Ich habe in den Fig. 34—36 Taf. III Gestalt und Lagerung dieser Deckzellen illustrirt. Fig. 34 ist einem Längsschnitt, Fig. 35 einem Querschnitt durch den Holzkörper genannter Pflanze entnommen. p p Prosenchymzellen, d d Deckzellen o o Oxalatkrystalle. Fig. 36 vergegenwärtigt die Art der Anlagerung einer Deckzellenmutterzelle d d, durch deren Theilung die Deckzellen entstehen, an die Holzfasern.

Das Grundgewebe und der Blatttheil des Stranggewebes sind jedenfalls in der Regel am reichsten am Kalkoxalat; beim Blatt also das Mesophyll: Schwamm- und Palissadenparenchym. Ist ein hypodermales Wassergewebe vorhanden, dann führen auch dessen Zellen Oxalat. Ausserordentliche Abweichungen zeigt die Oberhaut der Pflanzen; denn während im Allgemeinen die Epidermis frei von Krystallen ist, auch wenn die übrigen Gewebe solche massenhaft enthalten, so sind andererseits gewisse Epidermen sehr reich, mitunter geradezu angefüllt mit Concretionen des Salzes. Ich begnüge mich damit, nur einige Beispiele für das Gesagte anzuführen. Auffallender Krystallreichthum zeichnet die Oberhautzellen vieler *Acanthaceen* aus. So erfüllen nach *Weiss*[1] zahllose

[1] *Weiss, A.* Ueber ein eigenthümliches Vorkommen von Kalkoxalatmassen in der Oberhaut der Organe einiger *Acanthaceen.* (Sitzber. d. Acad. d. Wiss. Wien. I. Abth. Juli-H. 1884. Sep.-Abdr. p. 1—12.)

monocline Krystalle der verschiedensten Form die Epidermiszellen von *Cheilopsis montana*, monocline und tetragonale Krystalle (nicht rhombische, wie *Weiss* angiebt) massenhaft die Oberhautzellen von *Aphelandra Leopoldii* (Blattunterseite), *Acanthus Schottianus*, *Ac. lusitanicus* (Blattunterseite), *Ac. spionosus*. Bei *Eranthemum nervosum*, *Salpixantha coccinea* sind viele, aber nicht alle, Epidermiszellen krystallhaltig, bei *Acanthus intermedius*, *mollis*; *Aphelandra Libonica* nur vereinzelte. Zuerst ausgebildet werden bei diesen Pflanzen die Krystalle in den Haarzellen und sie erlangen in diesen oft ihre volle Länge, wenn in den übrigen Oberhautzellen die ersten Anfänge einer Krystallisation wahrzunehmen sind; die Schliesszellen der Spaltöffnungen dagegen sind immer frei von Krystallen. Auch die Oberhautzellen von *Ficus*-Arten enthalten nicht unbeträchtliche Mengen Calciumoxalats, besonders wenn die Cystolithen nicht oder auch bevor dieselben ausgebildet d. h. mit Calciumcarbonat incrustirt sind. Bei mehreren *Orchideen*, so bei *Vanilla planifolia* Andr. liegt in jeder Epidermisszelle ein schön ausgeformter tetragonaler Krystall, wie es Fig. 37, Taf. III vergegenwärtigt; ähnlich verhält es sich mit der Oberhaut der *Oleaceen*-Blätter.[1].

Der oxalsaure Kalk wird im Allgemeinen eine dreifache Lage der pflanzlichen Zelle gegenüber einnehmen können, entweder er wird als Inhaltskörper erscheinen oder der Zellmembran eingelagert sein oder endlich drittens der Zellwand aussen aufsitzen. Fassen wir zunächst den ersten dieser Fälle in's Auge, so sind wir vor die Alternative gestellt, den oxalsauren Kalk in's Protoplasma oder in die Zellsaftvacuole zu erweisen. Dass Oxalatkrystalle in die Membran der Zellen eingebettet und von einer Cellulosehülle umgeben im Innern der Zelle vorkommen können, lässt a priori wahrscheinlich erscheinen, dass die Krystalle im Zellplasma liegen, da sie nur durch dessen Thätigkeit dort in die Wand hier in eine rundum freie Cellulosehaut eingekapselt werden können. Damit steht in Einklang, dass man oft genug in sich bewegendem, circulirenden oder rotirenden Plasma Oxalatkrystalle enthalten sieht, weshalb von früheren Autoren fast allgemein die Angehörigkeit der Krystalle zum Plasma als Regel angesehen und

[1] *Pirotta*, *R.* Contribuzione all' anatomia comparata della foglia. I. Oleacee. Sep. aus: Annuario dell' Istituto botanico di Roma. vol. II. 1885.)

gelegentlich erwähnt worden ist, so von *Sachs*,[1] *Pfitzer*,[2] *van Tieghem*,[3] *Poli*,[4] *Berthold*[5] und Anderen.

Pfeffer hob an geeigneter Stelle die Möglichkeit eines Ueberganges der Krystalle aus dem Plasma in die Zellsaftvacuole hervor. Andrerseits sind Drusen im Zellsaft beobachtet worden in den Drusenhaaren von *Nicotiana longiflora*, Einzelkrystalle im Zellsaft von *Vaucheria*, von *Acanthaceen*haaren, von Wurzelhaaren der *Trianea bogotensis* etc.

Da wir die Cellulosebildung als eine Function der Hautschichte des Plasmas anzusehen genöthigt sind und im Innern der Zelle frei liegende Krystalle sehr häufig von Cellulosehüllen sich umgeben, müssen wir diese Krystalle von einer wenn auch noch so minimalen Plasmahaut umgeben erachten. Mitunter steht das den Krystall einhüllende Plasma mit dem Wandplasma durch Fäden oder Platten in Verbindung, mitunter enthält es sogar den Kern eingelagert wie bei *Hyacinthus*, *Cordyline vivipara*. *Anthurium Scherzerianum* etc. In jenem Falle ist das Kalkoxalatconcrement central ausgehängt an Plasmafäden wie der Zellkern der Spirogyrazelle; schickt sich dann die Hautschichte des Plasmas zur Cellulosebildung an, so resultiren *Rosanoff*'sche Krystalle. Fehlen diese Verbindungsstränge, erzeugt das Wandplasma aber locale Wandverdickungen, das den Krystall umhüllende einen an Dicke nach und nach zunehmenden Cellulosemantel, so kommt es bei geeigneter Form der Zelle und Lage des Krystalls zu Verwachsungen zwischen Krystallhülle und Zellwand, mit anderen Worten zu einem Anwachsen des Krystalls an die Zellinnenwand, wie wir es beim *Citrus*-Blatt, in den Krystallschläuchen der Rinde von *Salix*-, *Populus*-, *Fagus*-, *Rhamnus*-, *Acer*-, *Platanus*-Arten etc. etc. antreffen.

Das überaus häufige Auftreten *Rosanoff*'scher Drusen, die ich weiter unten ausführlich behandeln werde, und mit der Zellmembran verwachsener Cellulosehüllen von Einzelkrystallen zwingt uns zu der Annahme, dass Drusen und Krystalle immer von einer

---

[1] *Sachs*, *J. v.* Lehrbuch d. Bot. 1874. p. 67 und Vorles. über Pflanzenphys. p. 752. Fig. 361.

[2] *Pfitzer*, *E.* Ueber die Einlagerung von Kalkoxalat-Krystallen in die pflanzliche Zellhaut. (Flora 1872. Nr. 7 etc.)

[3] *van Tieghem*. Traité de Botanique. 1884. p. 526.

[4] *Poli*, *A.* I cristalli di ossalato calcico nelle piante. Roma 1882.

[5] *Berthold*, *G.* Studien über Protoplasmamechanik. 1886. p. 58.

dünnen Plasmahülle umgeben sind, auch wenn sie in der Zellsaftvacuole schwimmen, oder was dasselbe ist, dass sie im Plasma liegen, oder aber wir müssen der Vorstellung Raum geben, dass im Zellsaft liegende Kalkoxalat-Concremente gelegentlich in das Protoplasma gelangen können, oder umgekehrt, dass im Plasma schwimmende Krystalle nachträglich unter Mitnahme einer Plasmatasche in die Zellsaftvacuole einzuwandern vermögen. Nun ist aber durch die Arbeiten *Went's*[1] nachgewiesen, dass alle Zellen von Jugend auf Zellsaftvacuolen enthalten, dass auch die jüngsten Zellen des Meristems der Phanerogamen, die Scheitelzelle der Kryptogamen, dass Pollenkörner, Sporen, Eizellen etc. bereits Tonoplasten besitzen, dass diese Gebilde Organe des Plasma's sind gleich den Kernen und Chromatophoren und sich wie diese durch Theilung von Zelle zu Zelle fortpflanzen. *Wakker*[2] hat die Behauptung aufgestellt und zu stützen sich bemüht, dass alle Krystallausscheidungen der Pflanzenzelle im Tonoplasten sich befinden, dass sie sich stets im Zellsaft ausbilden, niemals im Cytoplasma, geräth aber dadurch in die missliche Lage, vor der Zellulose-Hülle der Kalkoxalatkrystalle und Drusen wie vor einem Räthsel zu stehen und auch die Cellulose-Balken der *Rosanoff*'schen Drusen können von ihm nicht erklärt werden, denn der Krystall wird von der Vacuole, seine Hülle und seine Träger aber vom Plasma erzeugt. Allein *Wakker* weiss sich zu helfen; er macht plausibel, dass Häutchen und Balken ausschliesslich in todten Zellen gefunden werden" und erfindet für die *Rosanoff*'schen Balken eine überraschende Bildungsweise. Betrachtet man jedoch die Frage näher, so kann man sich mit den *Wakker'*schen Deductionen wohl niemals einverstanden erklären. Denn gesetzt den Fall, das Plasma der Zellen, in welchen wir umhäutete Krystalle finden, wäre wirklich todt, so dürfen wir doch daraus nicht folgern, das „le tissu special" erst nach dem Absterben des Plasmas gebildet sei, denn dann müsste erst bewiesen und mit Beispielen belegt werden, dass zerfallendes Plasma Cellulosemembranen erzeugen kann. Dass wir es in den Krystallhäuten wirklich mit Cellulose zu thun

[1] *Went*, *F. A. F. C.* a) De jongste toestanden der Vacuolen. In.-Diss. Amsterdam 1886. b) Les prémiers états de vacuoles. Arch. Neerl. des Sc. ex. 1887.) c) Die Vermehrung der normalen Vacuolen durch Theilung. (Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 19. H. 3 p. 295 ff.)

[2] *Wakker*, *J. H.* Studien über die Inhaltskörper der Pflanzenzelle (Pringsh. Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 19. H. 4. p. 423 ff.).

haben, daran ist nicht zu zweifeln und davon hat sich *Wakker*, wie er p. 450 selbst mittheilt, selbst überzeugt. Es bliebe deshalb nur übrig anzunehmen, dass die Hülle vor dem Tode des Plasmas entstanden sei und dann muss der Krystall im Cytoplasma gelegen haben. Meine Untersuchungen jugendlicher Organe von *Pothos Hookeri*, *Philodendron argyraea*, *Anthurium Scherzerianum* etc. haben mir nun aber gezeigt, dass in Zellen mit noch ganz intactem Plasma bereits umhüllte und aufgehängte Kalkoxalatconcremente gefunden werden können und die Figg. 1 a und 5 i k l Taf. II stellen solche Zellen dar, wie ich sie häufig gesehen habe. 5 i beispielsweise stammt aus einem jungen Blattstiel von *Anthurium Scherzerianum;* die Druse d ist bereits an zwei deutlich sichtbaren Balken b b aufgehängt, obgleich das Plasma p p und der Kern n noch ganz normal sind, was auch plasmolytische Versuche mit Salpeterlösung darthun. Es kann demnach die Druse d nicht im Tonoplasten direkt liegen, sondern muss eine Plasmahülle besitzen oder besessen haben, welche ihre Cellulosekapsel und die mit derselben in Connex stehenden Balken b b erzeugte. Das ist eine unerlässliche Forderung, welche diese Befunde involviren, wenn anders man nicht dem Tonoplasten auch noch die Funktion der Cellulosebildung zudictiren will. Die Behauptung, dass alle Kalkoxalatkrystalle und -Drusen in der Vacuole liegen und im Zellsaft gebildet werden, dass sie niemals im Plasma der Zelle auftreten können, muss ich noch so lange als verfrüht betrachten, bis die eben angedeuteten Schwierigkeiten weggeschafft sind. Ich pflichte daher einstweilen noch der Annahme früherer Autoren bei, dass das Kalkoxalat auch im Plasma liegen kann, wenn es auch oft im Tonoplasten zu finden ist; im letzten Falle handelt es sich aber immer noch darum, ob nicht eine wenn auch noch so dünne Plasmaschicht das feste Gebilde umgiebt.

Meine Untersuchungen über die Bildung des Kalkoxalats in der Pflanze waren nahezu abgeschlossen, als *A. F. W. Schimper* die Resultate der seinigen publicirte. Unabhängig von ihm bin ich zu Ansichten gelangt, die mit den seinen im Grossen und Ganzen übereinstimmen, in mehreren Punkten aber auch abweichen, weshalb ich, wenn auch in etwas gedrängterer Form als früher beabsichtigt, meine Vorstellungen über die Kalkoxalatbildung hier der Oeffentlichkeit übergebe, gern die Priorität einzelner Entdeckungen jenem Autor überlassend und mich mit dem Bewusstsein begnügend, durch meine Beobachtungen zu Ansichten gelangt

zu sein, die, noch ehe sie publicirt wurden, zum Theil von anderer Seite auf Grund rationeller Experimente ihre Bestätigung erhielten.

Der Kalkoxalatgehalt jugendlicher Blattorgane stellte sich schon nach wenig zahlreichen Prüfungen als sehr variabel heraus. Ich fand einerseits junge Blätter ohne Kalkoxalat oder mit nur Spuren dieses Salzes in fester Form z. B. *Tropaeolum majus, Begonia discolor* etc.; auf der anderen Seite solche mit relativ grossen Mengen Oxalat. Letzterer Fall trat mir zuerst entgegen bei verschiedenen *Aroideen,* bei *Vitis vinifera* etc. Um mich über die Entstehungsweise der *Rosanoff*'schen Drusen zu unterrichten, war es geboten, möglichst junge Blatt- und Stengelorgane zu untersuchen, wozu ich die noch eingerollten, im Blattstiel älterer eingeschlossenen Blätter von *Pothos triphylla, Philodendron argyraeum* etc. wählte und ich war nicht wenig verwundert, in einer Entfernung von 2—3 mm von Vegetationspunkt des Stengels bereits Oxalatdrusen massenhaft vorzufinden. Von den Rhaphiden war mir längst bekannt, dass dieselben z. B. bei *Vitis, Ampelopsis* etc. in noch vollständig in der Knospe eingeschlossenen Blättern von kaum mehr als 1 mm Länge bereits sehr stattlich ausgebildet sind; *Cuboni*[1] theilte bereits 1883 mit, dass bei den genannten Pflanzen die Rhaphiden in Zellen an der Peripherie der Blatthöcker am Vegetationskegel schon deutlich ausgeformt sind, ich fand bei *Ampelopsis* neben den Rhaphiden auch schon Drusen von oxalsaurem Kalk in diesen jugendlichsten Blättern vor. Auch in den Grundgewebszellen ganz junger Triebe von *Cacteen* (*Cereus*-Arten) fielen mir Körnchen, Stäbchen und grosse Drusen, mitunter auch noch Sphaerite von oxalsaurem Kalk auf. Diesen schon während der Ausbildung der Pflanzenorgane in demselben erstarrten oxalsauren Kalk nenne ich, und *Schimper* that das Gleiche, primären; er entsteht selbstredend unabhängig vom Licht, unabhängig vom Chlorophyll und wird von der Transpiration nicht beeinflusst, denn es kann weder von einer Einwirkung des Lichtes, noch von Assimilation, noch von einer transpiratorischen Thätigkeit der noch vollständig in der Knospe eingeschlossenen Organe gesprochen werden. Das primäre Kalkoxalat pflegt sich zu vermehren so lange bis das betreffende Organ

[1] *Cuboni, G.* Appunti sull' anatomia e fisiologia delle foglie della vite. (Rivista d'Enol. e viticolt. di Conegliano. Ser. II. Anno VII. Sep. 8°. 10 p.)

seine typische Form erreicht hat; der Ort seines Auftretens ist weniger bestimmt und regelmässig, als der des sekundären und tertiären Oxalats, von dem ich sogleich reden werde, wenn auch eine periphere Lagerung im Organ zu dominiren scheint und später im Laufe der Entwicklung des betreffenden Organs durch den Wachsthumsprocess dem primären Kalkoxalat häufig ganz bestimmte Orte des Auftretens aufgedrängt werden.

Massenhaft und in leicht zu übersehender Weise wird das primäre Salz in den Herbstknospen der Pflanzen ausgeschieden. Deckschuppen, Bracteen, jugendliche Stengel-, Blatt- und Blüthenanlagen enthalten dasselbe in grossen Mengen und allen Formen, in Gestalt von Rhaphiden und Drusen e. B. bei *Ampelopsis quinquefolia,* von grossen prachtvollen Solitären in den Bracteen von *Fagus sylvatica,* in Gestalt nur von Drusen in den jungen Blattanlagen von *Betula alba;* nur Rhaphiden enthalten die ganz jungen Blätter von *Testudinaria elephantipes* u. s. f. In den inneren weissgrünlichen Deckschuppen von *Fagus sylvatica* liegen die primären Solitäre in Reihen, wie ich eine in Fig. 44 Taf. II dargestellt habe. Fig. 43 ist das Bild einer ganzen Bractee, an der durch Punktreihen die Krystalle angedeutet sind. Hier ist es hochinteressant zu sehen, wie die Haarentwicklung mit der Kalkoxalatbildung Hand in Hand geht. Da, wo die Epidermis viele dickwandige Trichome ausgebildet hat, an der Spitze und Basis und in der Mittellinie des Blattes finden sich auch allein Krystalle, welche in den kahlen Partien ganz fehlen. Es scheint mir das sehr zu Gunsten der von mir fernerhin vertretenen Anschauuung zu sprechen, dass bei Cellulosebildung Kalkoxalat mit entsteht, dass der Rohstoff für die Stärke-, Cellulose- und Eiweissbildung eine organische Kalkverbindung ist, aus der Kalk frei wird für die Festlegung in Form von Oxalat überall da, wo Cellulose, Stärke etc. sich im Stoffwechsel erzeugt. Fig. 41 ist eine querdurchschnittene Herbstknospe von *Betula alba,* die dunklen Punkte bedeuten auch hier Kalkoxalat (Drusen). Fig. 42 sind zwei Spreitenspitzen des Blattes derselben Pflanze aus der Knospe und Fig. 45 ein Fragment des Herbstblattes. Die primären Drusen sind durch den Wachsthumsprocess an den Rand des alten Blattes gerückt worden unter fortwährender Vermehrung und Vergrösserung während der Entfaltung des Blattes. Ist letztere vorbei, so ruht die Bildung von primärem Salz, und sekundäres wird auf sogleich zu besprechende Weise hervorgebracht.

Der sekundäre oxalsaure Kalk ist schon seinem Ursprung nach wesentlich von jenem verschieden; er entsteht in der chlorophyllhaltigen Zelle und nur in dieser. Seine Bildung ist abhängig vom Licht und vom Chlorophyll, aber, wie *Schimper*[1] experimentell an in reiner Kohlensäure längere Zeit gezogenen Pflanzen nachwies, unabhängig von der Assimilation.[2] Er ist daher zu finden im Grundgewebe des Blattes und im chlorophyllhaltigen Gewebe des Blattstiels und Stengels. Mitunter wird er in den Palissadenzellen des Blattes ausgeschieden wie beispielweise in den Blättern von *Juglans regia, Citrus vulgaris, Coleus Verschaffelti, Humulus Lupulus* etc. etc., mitunter nur im Schwammparenchym, so bei *Datura Stramonium, Atropa Belladonna, Hyoscyamus niger* etc., endlich erscheint er in beiden gleichzeitig, in den Palissaden- und Schwammparenchymzellen, wie unter anderen bei *Althaea officinalis.* Der sekundäre oxalsaure Kalk rührt von den Blättern durch die Transpiration zugeleiteten Bodensalzen, Kalknitrat, -sulfat und -phosphat, her, ohne kräftige Zuleitung der Lösungen dieser Salze gelangt er nicht zur Ausbildung, ja er kann, wenn die Zuführung von Kalksalzen ganz unterbleibt, einmal gebildet, wieder aufgelöst werden. Dieses Kalkoxalat erweist sich in der Pflanze ebenso beweglich wie die Produkte der Assimilation, es bleibt dabei zunächst fraglich, ob das Salz vor der Wanderung in seine Bestandtheile zerlegt wird, oder als solches, etwa durch Pflanzenalbumin in Lösung erhalten, transportirt wird. Wird es zerlegt, so kann jeder seiner Bestandtheile wieder irgendwo anders zur Bildung neuen Oxalats beitragen. Als tertiäres Kalkoxalat bezeichne ich abweichend von *Schimper* dasjenige, welches sich in der Nachbarschaft grösserer Cellulosemassen, also in der Nähe der Bastfasern und Sklerenchymzellen, im Collenchym etc. ausscheidet. Ich nehme an auf Grund der von mir constatirten Thatsachen, deren ich noch Erwähnung thun werde, dass der Kalk eine wichtige Rolle beim Transport der Kohle-

---

[1] *Schimper.* l. c. p. 88.

[2] Dafür, dass Licht und Chlorophyll eine wichtige Rolle bei der Kalkoxalatbildung spielen, spricht schon die Thatsache, dass Sonnenformen reichlichere Mengen von Krystallen erzeugen als Schatten- und Feuchtformen. Vgl. darüber u. A. *Grevillius, A. Y.,* Ueber den Bau des Stammes bei einigen lokalen Formen von Polygonum aviculare L. (Sitzber. d. Botaniska Sektionen af Naturvetenskapliga etc. i Upsala. Sitz. 1. Dec. 1887. — Bot. Centralbl. 1888. Nr. 49.)

hydrate spielt und zwar, dass die Stärke in Form einer organischen Kalkverbindung wandert, sei es, dass es sich dabei handelt um eine Kalk-Dextrose, oder eine Kalk-Glycose oder um eine sonstwie beschaffene organische Kalkverbindung. Wäre diese Annahme richtig, so würde überall da, wo Dextrose oder Glycose zur Cellulose- oder Stärkebildung verwendet wird, Kalk disponibel werden und mit Oxalsäure zu Calciumoxalat zusammentreten können, wir müssten hauptsächlich da, wo Cellulose oder Stärke in grösseren Mengen producirt wird, Kalkoxalat finden. Dem ist in der That in unzähligen Fällen so. Die Bastfasern oder Bastfaserbündel sind oft wie gepflastert mit Kalkoxalatkrystallen, man vergleiche, um sich dies zu vergegenwärtigen, nur die Figg. 12, 13 u. 14 Taf. II, von denen Fig. 12 ein Stück einer Bastfaser aus der Stammrinde von *Solix aurita,* Fig. 13 Bastfasern aus der Wurzel von *Glycyrrhiza glabra,* Fig. 14 ein querdurchschnittenes Hart-Bastbündel aus dem Blatt von *Citrus vulgaris* darstellt. Allein dieses überaus häufige Auftreten des oxalsauren Kalkes in der nächsten Nähe der Bastfaserbündel könnte auch leicht so gedeutet werden, wie es *Sachs* unter dem Eindruck des *Holzner'*schen Gedankens über den Zweck der Oxalsäure in der Pflanze früher gethan hat; die Oxalatkrystalle könnten deshalb in der Nähe der Bastfasern gefunden werden, weil daselbst der schwefelsaure Kalk, den die Wurzeln im Bodenwasser zuleiten, durch Oxalsäure zersetzt wird, damit seine Schwefelsäure zur Bildung schwefelhaltiger Eiweissstoffe in die Siebröhren eintreten kann. Ein solcher Zusammenhang zwischen dem Ort der Ausscheidung des Kalkoxalats und den Siebröhren ist denkbar, aber es ist dann zu verwundern, dass das Kalksalz sehr oft erst entsteht, wenn der Hartbast angelegt wird, nicht früher, und dass das Kalkoxalat nicht noch mehr in der Nähe der Siebröhren und gleichmässig um dieselben vertheilt ausgeschieden wird, was nicht der Fall zu sein pflegt. Mussten mir diese Verhältnisse eine so enge Beziehung zwischen Siebröhren und Kalkoxalat schon einigermassen zweifelhaft erscheinen lassen, so wurde dieser Zweifel noch erheblich vergrössert durch die Beobachtung, dass das Kalksalz auch häufig solchen Bastfaserbündeln angelagert ist, welche gar keinen Weichbast, also keine Siebröhren neben sich haben, Bastfasern einfacher Bündel. Aus der grossen Zahl von mir beobachteter derartiger Fälle führe ich nur zwei an, die jedoch, wie ich glaube, zur Evidenz mindestens das beweisen, dass bei der Ausscheidung des Kalkoxalats neben den Hartbast-

fasern die Siebröhren nur eine untergeordnete oder gar keine Mitwirkung haben, wodurch die innige Beziehung zwischen intensiver Cellulosebildung beim Aufbau sklerenchymatischer Elemente, also hier Bastfasern und Entstehung von Kalkoxalat an Wahrscheinlichkeit sehr gewinnt. In den Blättern von *Pandanus* liegen unter der Epidermis neben zusammengesetzten auch eine grosse Menge einfacher, nur aus Bastfasern bestehender Stränge, oft nur aus 2, 3—10 Bastfasern nebeneinander bestehend, wie ich in Fig. 17 Taf. II dargestellt habe *(Pandanus furcatus);* immer finden sich dann Krystallschläuche, die Bündel begleitend, und man entdeckt kein Bündel ohne Krystallschläuche oo, die grosse Oxalatsolitäre enthalten. Ein zweites Beispiel bieten die Blätter von *Aspidistra elatior,* in deren Stielen die an der Peripherie liegenden Gefässbündel mit einander durch eine Ringzone von Bastfasern verbunden sind, wie es die Fig. 15 schematisch wiedergiebt. Den Fasern dieses Ringes sind nun aussen eine grosse Zahl von Krystallschläuchen mit langen prismatischen Solitären angelagert, welche ich durch kleine dunkle Rhomben oo genau da angegeben habe, wo ich sie sah. Nicht die Gegenwart der Siebröhren ist es, welche den Krystallreichthum in der Umgebung des Basttheils der Gefässbündel bedingt, sondern vielmehr die des Hartbastes oder anderer sklerenchymatischer Gewebe.

Doch noch eine grosse Anzahl anderer Beobachtungen bestärkten mich in meiner oben ausgesprochenen Ansicht. Häufig sah ich auch in der nächsten Nachbarschaft von Sklerenchymzellen, welche gar nicht in der Nähe von Siebröhren liegen, Anhäufungen von Oxalat, so in einer Menge von Rinden. Interessant ist, dass in der Rindenschicht der *Radix Calumbae* die Calciumoxalatkrystalle hauptsächlich nur in den Sklerenchymzellen ss selbst auftreten, wie Fig. 16 Taf. II darstellt. Sehr gute Untersuchungsobjekte stellen viele Gallen dar. Bei ihnen findet man besonders häufig Kalkoxalat da ausgeschieden, wo Zellen sklerotisch geworden sind. Jede aleppische Eichengalle weist neben der mehrzelligen Schicht sklerotischer Zellen im Centrum mehrere Reihen dünnwandiger oxalsauren Kalk führender Zellen auf. In den schönen Cecidomyia(fagi)-Gallen der Buchenblätter liegen die zahlreichen Oxalatkrystalle ausschliesslich in Zellen, deren Wände ganz oder partiell stark verdickt sind. Fig. 31 Taf. II stellt ein Stück eines Querschnittes durch eine solche Galle dar mit 5 krystallführenden Zellen; alle übrigen Zellen sind dünnwandig und krystallfrei.

Ferner verträgt sich mit der *Sachs*'schen Auffassung nicht, wohl aber mit der meinigen, die oft bedeutende Ablagerung von Kalkoxalat im Mark vieler Pflanzen, wo sie auch nicht selten zu den sklerotischen Elementen in Beziehung zu stehen scheint, insofern oft neben der Kalkoxalatbildung eine nicht unbeträchtliche Celluloseproduktion (Verdickung der Markzellenwände) einhergeht.

In frappantester Weise tritt uns die Association von Cellulose- und Kalkoxalatbildung in den Schalen der Zwiebeln zahlreicher monocotyler Pflanzen entgegen, in denen sehr häufig jede Epidermiszelle einen relativ grossen, das ganze Lumen derselben ausfüllenden Krystall von Kalkoxalat enthält. Hier ist es nun fast Regel, dass je mehr Cellulose in den Wänden der Zellen des subepidermalen Gewebes deponirt ist, um so zahlreicher und massenhafter Kalkoxalatkrystalle zu finden sind. Ich nenne an dieser Stelle nur die Zwiebeln von *Gagea lutea Schult., Romulea Bulbocodium Sebast., Morea papilionacea Gawler., Androcymbium spec.*, welche von *F. v. Tavel*[1] eine detaillirte Beschreibung erfahren haben. In Fig. 32 Taf. II habe ich die äusserste Partie der Zwiebelschale von *Morea papilionacea* abgebildet um das oben Gesagte wenigstens an einem Falle zu illustriren. Die Krystalle kk sind vollständig in die Cellulosemassen der Epidermiszellwände eingebettet, um später der Zerstörung anheimzufallen. Der in ihnen enthaltene Kalk hat seine Rolle gespielt und wird nun als überflüssig in Verbindung mit Oxalsäure abgeschieden.

Was hier von Zwiebeln gesagt ist, gilt mutatis mutandis auch von manchen Samen resp. deren Hüllen. So sind nach *Mattirolo*[2] in dem Entwicklungsprocesse der äusseren Samenknospenhülle von *Tilia*-Arten zwei Momente festzuhalten, von denen das erste von ihm folgendermassen präcisirt wird: „Die anfangs plasmareichen Zellen büssen ihre ursprüngliche Teilungsfähigkeit nach einiger Zeit ein, ihr Inhalt verschwindet, die Wände verdicken sich und es geht ein reichlicher Niederschlag von Kalkoxalat, in Krystallform, im Innern der Gewebe vor sich" — auch hier werden also Cellulose-Bildung und Kalkoxalat-Ausscheidung

[1] *Tavel, F. von.* Die mechanischen Schutzvorrichtungen der Zwiebeln. (Ber. d. deut. Bot. Ges. Bd. V. H. 10 p. 438 ff.)

[2] *Mattirolo, O.* Di un processo di tuberifiazione nei tegumenti seminali del genere *Tilia* L. (Atti della R. Accad. delle scienze. vol. XX. Torino 1885. Sep. 7 p.)

in engsten Zusammenhang gebracht, ganz wie es die von mir vertretene Anschauung fordert.

Die Thyllen vieler Pflanzen führen neben anderen Inhaltskörpern auch bisweilen Kalkoxalat. *Molisch*[1] fand solchen in den Thyllen von *Sideroxylon cinereum, Maclura tinctoria,* (nicht *M. aurantiaca*), *Piratinera guianensis, Loxopterygium Lorentzii Grieseb., Vitis vinifera.* Wie zu vermuthen war, liegen in den Steinthyllen von *Piratinera guianensis* besonders grosse Kalkoxalatksystalle.

Auch wo zufliessendes flüssiges Kohlehydrat sich in feste Reservestoffe umwandelt, die ausser Cellulose Stärkekörner, Aleuron etc. sein können, müsste oxalsaurer Kalk zur Abscheidung kommen. In der That ist in Knollen, Rhizomen, Wurzeln, Brutknospen, Cotyledonen etc. dieses Salz meist in ansehnlicher Menge vorhanden. Diese eben ausgesprochene Behauptung kann ich durch zahlreiche in der Literatur sich findende Angaben und durch von mir gemachte Beobachtungen stützen. *Rothert*[2] gelangt z. B. durch seine „vergleichend-anatomischen Untersuchungen über die Differenzen im primären Bau der Stengel und Rhizome krautiger Phanerogamen" unter anderm zur Ueberzeugung „dass oxalsaurer Kalk häufiger und reichlicher in den Rhizomen als in den Stengeln vorkommt". Da er Rhizome von Pflanzen aus den verschiedensten im System oft weit von einander entfernten Familien (Gramineen, Irideen, Liliaceen, Orchideen, Labiaten, Primulaceen, Ranunculaceen etc.) untersuchte, ist man berechtigt, den Kalkoxalat-Reichthum der Rhizome als Regel anzusehen. Aehnliche in der Literatur verstreute Angaben beziehen sich auf die anderen der oben angeführten Reservestoff-Behälter. Von meinen darauf hin angestellten Untersuchungen führe ich noch folgende Einzelfälle an:

Unterzieht man beispielweise die in den Blattachseln sitzenden Brutknöllchen von *Ranunculus Ficaria* einer anatomischen Untersuchung, so erblickt man zwar in den stärkeführenden Zellen selbst kein Calciumoxalat, um so mehr davon aber in der dünnen Rinde, welche jene Zellen umgiebt. Fast in jeder Rindenzelle liegt ein

---

[1] *Molisch, H.* Zur Kenntniss der Thyllen, nebst Beobachtungen über Wundheilung in der Pflanze. (Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wiss. in Wien. Math. nat. Cl. Bd. XCVII. Abth. I. Juni 1888. p. 12 ff.)

[2] *Rothert, W.* Vergl.-anat. Unters. über die Differenzen im primären Bau der Stengel und Rhizome krautiger Phanerogamen nebst einigen allgemeinen Betrachtungen histologischen Inhalts. (Preisschrift. Dorpat 1885).

grosser Solitär oder eine Druse, so dass, was besonders unter dem Polarisationsmikroskop deutlich entgegentritt, das ganze Knöllchen wie gepflastert mit Oxalat erscheint. Ganz ebenso verhalten sich die Wurzelknöllchen; auch bei ihnen sind in der Rinde grosse Mengen dieses Kalksalzes deponirt und, was besonders wichtig ist, schreitet die Anreicherung an Kalkoxalat gleichmässig mit der Stärkeerfüllung der inneren Zellen fort, in jungen Knöllchen findet man weniger und kleinere Krystalle und Drusen als in alten.

Daher enthalten die Pflanzensamen[1] überaus häufig, vielleicht immer Kalkoxalat in irgend einem Theil in der verschiedensten Form. *Rosanoff*'sche Drusen trifft man in der Samenschale von *Pistia, Ulmus,* octaëdrische Krystalle in der Samenschale von *Cyclamen* und in der Testa von *Oxalis,* andere in der Samenschale oder dem Pericarp von *Geranium, Acer, Tilia, Ribes, Anagallis, Tamus,* vielen *Compositen, Palmen* etc.

Im äusseren Intugement von *Glaucium luteum* erstarrt gegen die Samenreihe hin die stickstoffhaltige, vorher zähe Inhaltsmasse zu einem braunen Maschenwerk, dem zahlreiche Kalkoxalatkrystalle eingelagert sind.[2]

Besonders reich an Kalkoxalat sind die Pericarpien und es mag dafür dieselbe Ursache vorliegen. Die Krystalle sind entweder in dünnwandigen Zellen eingeschlossen *(Spiraea, Agrimonia, Ranunculus, Chenopodium, Urtica, Malva)* oder in Steinzellen *(Fragraria, Potentilla, Beta),* die bei den *Labiaten, Lappa* etc. der Hartschicht angehören. Gewöhnlich sind Einzelkrystalle vorhanden, seltener Drusen *(Chenopodium, Urtica).*[3] Die Figg. 33 und 34, Taf. II sind Querschnitte durch die Pericarpien von *Lamium album* und *Chenopodium Bonus Henricus.*

Im Endosperm und den Cotyledonen vieler Pflanzen wird das Reservematerial in Form von Proteïnkörnern (Aleuron) deponirt, so im Endosperm von *Silybum marianum, Paeonia humilis*

---

[1] *Lohde.* Ueber die Entwicklungsgeschichte und den Bau einiger Samenschalen. Inaug.-Diss. Leipzig 1874. — *Gulliver, G.* On the crystals in the Testa and Pericarp of several Orders of Plants and in other parts of the Order Leguminosae. (Monthly microsc. Journ. X. p. 259.) — Ders. On crystals in the testa of the elm. (Quat. Journ. of microsc. Sc. XIII. p. 290.)

[2] *Hegelmaier.* Vergleichende Untersuchungen über die Entwicklung dikotyledoner Keime mit Berücksichtigung der pseudomonocotyledonen. Stuttgart 1878.

[3] *Kraus, Gr.* Ueber den Bau trockner Pericarpien. (Pringsh. Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 5. p. 94 ff.)

und *peregrina*, *Cephalaria-Species*, *Ricinus communis*, *Aethusa cynapium*, *Coriandrum sativum*, *Vitis vinifera* u. s. f. und in den Cotyledonen von *Corylus avellana*, *Tragopogon major*, *Scorzonera hispanica*, *Bertholletia excelsa*, *Phaseolus-Arten*, *Lupinus-Arten* und vielen anderen *Compositen*, *Papilionaceen*, *Amentaceen* etc. etc. Auch hierbei kommt es meist zur Bildung von Kalkoxalat, das in Form von Einzelkrystallen, Zwillingen und Drusen in den Proteïnkörnern erscheint und ebenfalls in dem Masse sich vermehrt, als die Quantität des Reservestoffs sich vergrössert. Bei der Keimung der Samen, während welcher die Proteïnkörner wieder gelöst werden, um das organische Material für den Aufbau des Keimpflänzchens zu liefern, werden auch die Kalkoxalatkrystalle zersetzt und ihr Kalk jedenfalls zum Transport der Kohlehydrate benutzt. Ich trete bezüglich dieser Erscheinung des Verschwindens des Kalkoxalats in Gegensatz zu *Peffer*, der gerade für die Pflanze, an der ich das Verschwinden dieses Salzes ausserordentlich deutlich beobachten konnte, *Lupinus luteus*, ein „Verbleiben der tafelförmigen Krystalle von oxalsaurem Kalk zu allen Zeiten in den Samenlappen" behauptet, wenn er auch zugiebt, dass sich Spuren von Auflösung zeigen können, welche letzte Möglichkeit er aber für *Silybum* vollständig in Abrede stellt. Meine Untersuchungen haben mich, wie soeben angedeutet, zu der entgegengesetzten Meinung geführt. Während in den Cotyledonen der Samen, die ich den Hülsen von *Lupinus luteus*-Pflanzen im September—October entnahm, jede Zelle beinahe ein oder zwei Kalkoxalatkrystalle enthielt, sah ich auf Längsschnitten durch die Keimblätter einer Keimpflanze von der durch die Fig. 35, Taf. II verdeutlichten Entwicklungshöhe kaum 2—3 Krystalle, welche noch dazu Spuren angehender Corrosion gewahren liessen; im ersten Falle waren hunderte von Krystallen gleichzeitig im Gesichtsfeld des Mikroskopes, im letzteren einige wenige, für mich ein sicherer Beweis dafür, dass der oxalsaure Kalk der Proteïnkörner beim Keimungsprocess sich zersetzt, damit seine Bestandtheile in irgend welcher Weise in den Stoffwechsel eintreten können. Die Thatsache, dass in eben dieser Keimpflanze überhaupt oxalsaurer Kalk noch nicht wieder zur Ausscheidung gelangt ist, denn die mikroskopische Untersuchung liess weder im Blattstiel noch in der Spreite der Primordialblätter, noch im Hypocotyl und Epicotyl, noch in der Wurzel Krystalle oder Drusen erspähen, scheint mir mit Sicherheit darauf hinzuweisen, dass der Kalk in flüssiger Verbindung

dem Stofftransport in dem Keimling dienstbar gemacht wird. Eine grosse Zahl *Lupinus*-Samen liess ich im Dunkeln keimen, bis die jungen Pflänzchen von der Plumula bis zur Wurzelspitze etwa 8—9 cm maassen. Bei der mikroskopischen Untersuchung der Cotyledonen ergab sich, dass die noch stärkeerfüllten Zellen intakte Krystalle, die ganz oder theilweise entleerten Zellen aber gar keine oder corrodirte Krystalle enthielten. In der Plumula fand ich kein Oxalat, dagegen überall in dem hypocotylen Glied und der gesammten Wurzel. Wie vortrefflich dieser Befund mit meiner Auffassung übereinstimmt, habe ich nach dem Gesagten nicht besonders auseinander zu setzen.

An im Licht erwachsenen *Phaseolus vulgaris*-Keimpflanzen konnte ich ebenfalls das Verschwinden der Kalkoxalatkrystalle aus den Cotyledonen constatiren und in Bezug auf das spätere Auftreten von Krystallen zunächst auf der Grenze zwischen Epi- und Hypocotyl und später auch weiter nach oben und unten und endlich auch in den Blättern befinde ich mich in vollkommener Uebereinstimmung mit *Aé* [1]. Auch bei im Dunkeln erwachsenen Keimlingen dieser Pflanze lässt sich das Verschwinden der Krystalle aus den Keimblättern und das Auftreten neuer in den Achsentheilen constatiren. Während aber bei den normalen Pflanzen in Folge von Licht und Chorophyllthätigkeit die Menge des in den oberirdischen Theilen ausgeschiedenen Kalkoxalats fortwährend zunimmt, tritt bei den Dunkelpflanzen kurz vor dem Erlöschen des Lebens eine entschiedene Verminderung der Kalkoxlatkrystalle ein. Im Hypo- und Epicotyl bleiben dieselben am längsten bestehen, ein Beweis dafür, dass das Kalkoxalat, welches als primäres im hypo- und epicotylen Theil abgesetzt wurde, nicht ohne Weiteres wieder zum Kohlehydrattransport verflüssigt wird.

Die im Dunkeln erwachsenen Kartoffeltriebe enthalten ebenfalls Kalkoxalat, das eine geraume Zeit hindurch sich vermehrt, bis es vor dem Absterben sich wieder vermindert ohne ganz zu verschwinden.

In etiolirten Pflanzen fand ich häufig, so bei *Dahlia variabilis,* in frühster Jugend, also wenn der Spross noch in der Knospe verborgen ist oder sich bis zu 3—4 Internodien frei entwickelt hat, keine Spur von Kalkoxalat. Später, bei Individuen mit 7—8 freien Internodien sah ich in den untersten 3 Internodien und zwar nach oben abnehmend tetragonale Krystalle dieses Salzes,

[1] *Aé II. A.* Flora 1869. p. 189 ff.

ebenso Spuren davon in den beiden untersten Blättern, während ich in den obersten Internodien und Blattspreiten davon keine Spur entdecken konnte. Da die Pflanzen im Dunkeln gewachsen waren, von Assimilation oder Chlorophyll-Einfluss keine Rede sein konnte, muss das entstandene Kalkoxalat primäres oder tertiäres sein. Da aber das primäre in allen durch Zellvermehrung wachsenden Organen auftreten müsste, ich aber nur in den unteren (älteren) Organen Krystallen begegnete, so muss das Salz tertiäres Oxalat repräsentiren. In den am Licht ergrünten, in Brunnenwasser stehenden Sprossen sah ich in allen Theilen des Blattes, in oberer und unterer Epidermis und im Mesophyll, ebenso die Nerven begleitend, wenn auch in spärlicher Vertheilung monocline tafelförmige Kalkoxalat-Krystalle. Im Stengel dagegen habe ich nirgends oxalsauren Kalk entdecken können, obgleich die leicht zu überblickenden Siebröhren von Eiweiss strotzten.

Wäre das tertiäre Kalkoxalat wirklich als Nebenprodukt bei der Celluloseausscheidung zu betrachten, so hätte es am meisten Aehnlichkeit mit dem primären, denn auch dieses könnte man sich dann entstanden denken als ein Nebenprodukt bei der Aufführung der ersten Zellwände am Vegetationspunkt, der ja auch Kohlehydrate in Form von Kalkverbindungen zugeleitet erhält. Nur ein Unterschied bleibt zwischen beiden bestehen: das primäre Salz entsteht beim Aufbau des ersten Zellgerüstes, das tertiäre während späterer Stoffwechsel- und Wachsthumsprocesse, jenes resultirt bei der Zellentstehung, dieses bei Zellenwachsthum; das erste ist ein Nebenprodukt bei der Zellneubildung, das zweite bei der Zellausbildung; nur da, wo beide Processe nahe zusammenfallen, werden wir auch keine strenge Grenze zwischen beiden ziehen können, so in der Nähe aller Theilungsgewebe, wo oft Membranneubildung und Flächen- und Dickenwachsthum der Membran direkt an einander schliessen, wogegen bei nachträglichen Verdickungserscheinungen und bei periodischer Kohlehydrat-Deponirung nur von tertiärem Kalkoxalat zu sprechen ist.

Noch ein Gesichtspunkt wäre meiner Meinung nach für den in Reservestoffbehältern deponirten oxalsauren Kalk in's Auge zu fassen. Vorausgesetzt, dass weitere Versuche das Verschwinden des oxalsauren Kalkes aus dem Endosperm, den Cotyledonen, den Knollen etc. bestätigen, so wäre der Nutzen des Kalkes nach dem Gesagten ohne Weiteres klar, er spielt die Rolle des Transporteurs für die Kohlehydrate. Doch auch der beim Zerfall des Kalksalzes

im status nascenti sich befindenden Oxalsäure käme dann vielleicht eine nicht zu unterschätzende Bedeutung zu, die nämlich, die Lösung der Stärke, Cellulose etc. durch das Ferment zu ermöglichen, denn das geht aus allen Untersuchungen über Pflanzenfermente hervor, dass für ihre Wirksamkeit die Mitwirkung einer Säure eine ganz nothwendige Bedingung ist. Hat man nun auch bei Versuchen über die Leistungsfähigkeit der einzelnen Säuren in dieser Hinsicht die Ameisensäure für besonders wirksam erkannt, wirksamer als Salzsäure, Essigsäure, Citronensäure, so liegt doch a priori kein Grund vor, die Oxalsäure, besonders wenn sie frei wird, für unwirksam zu halten; meine Untersuchungen über die Fähigkeit der Oxalsäure, diastatische Fermentwirkung zu unterstützen und zu beschleunigen, sind noch nicht abgeschlossen, doch lassen dieselben schon jetzt erkennen, dass obige Supposition keineswegs unberechtigt genannt werden kann.

Der oxalsaure Kalk würde dann noch viel weniger „Auswurfsstoff" genannt werden können, wie es *Holzner*[1] zuerst, später *de Vries*[2] und andere gethan haben, sondern er wäre ein Nebenprodukt zwar, aber ein solches von grosser physiologischer Bedeutung, weil es jederzeit durch seinen Zerfall zwei für den Stoffwechsel werthvolle Factoren disponibel macht, die Oxalsäure für die Umwandlung der Reservestoffe, den Kalk für den Transport der reaktivirten. Hiernach wäre die häufige Ablagerung des Kalkoxalats in Reservestoffbehältern nicht mehr eine räthselhafte, sondern eine Erscheinung, deren Sinn klar, deren Zweckmässigkeit unverkennbar wäre.

Als quartäres Oxalat bezeichne ich endlich das, welches bei der herbstlichen Entleerung der Blätter entsteht durch Austausch der Säuren zwischen oxalsaurem Kali und Kalksalzen; es ist *Schimper's* tertiäres, und von diesem Forscher physiologisch-genetisch vollkommen richtig definirt. Da nach *Berthelot* und *André* die Menge der Oxalsäure des Blattes im Herbst sich nicht vergrössert, die Menge der unlöslichen Oxalate aber auf Kosten der löslichen zunimmt, muss man jenen Säureaustausch zwischen Kalioxalat und Kalksalzen annehmen. Wie energisch die Auswanderung des Kalis aus den Blättern im Herbst ist, illustriren folgende Zahlen:

---

[1] *Holzner*, Flora 1867. p. 515 ff.

[2] *de Vries, H*, Ueber die Bedeutung der Kalkablagerungen in der Pflanze. (Landwirthsch. Jahrb. Bd. X. 1881. p. 53.)

Kaligehalt in % der Reinasche[1] der Blätter von

Fagus silvatica		
	Mitte Mai	42,11
	„ Juli	17,15
	„ October	7,15.
Quercus Robur		
	August	33,14
	October	3,35.
Juglans regia		
	Mai	42,70
	August	26,57.
Aesculus Hippocastanum		
	Mai	49,32
	September	19,57.
Solanum tuberosum		
	27. Juni	42,27
	17. Juli	27,95
	18. August	20,60.

Wie erstaunlich gross die Menge der Kalkoxalatkrystalle im herbstlichen Blatt ist, lehrt ein Blick auf die beiden Figg. 18 u. 19 Taf. II, welche nach Glühpräparaten gezeichnet sind; Fig. 19 stellt ein Stück eines Seitennerven aus dem Blatt von *Quercus Robur* dar, Fig. 18 einen Theil des Hauptnerven des Blattes von *Fagus silvatica*. Hier bei dem quartären Calciumoxalat wären es die im Blattgewebe anwesenden Kalksalze des Bodenwassers, aus denen das Calcium entnommen wird; beim tertiären Oxalat bleibt es zweifelhaft, ob die Kalksalze aus dem Boden direkt oder bereits gebildetes Oxalat den Kalk für den Kohlehydrattransport und die darauffolgende Abscheidung von Kalkoxalat liefern. Wahrscheinlicher scheint mir das erstere, denn die ungeheuere Zunahme des Kalkgehalts der Blattsubstanz im Herbst spricht dafür, dass von dem im Blatt einmal gebildeten Kalkoxalat nicht wesentlich viel wieder aus dem Blatt auswandert. Wanderte in Wirklichkeit viel Oxalat wieder aus dem Blatt aus, so müsste der Kalkgehalt des Blattes nach und nach geringer werden, oder, den günstigen Fall vorausgesetzt, es flösse eben so viel Kalk zu als in Form von Oxalat auswanderte, dann müsste der Kalkgehalt constant bleiben und während der Bildung des quartären Oxalats im Herbst rapid

[1] *Wolff, E.* Aschenanalysen.

zunehmen; statt dessen wächst aber der Kalkgehalt des Blattes ganz allmälig

Kalkgehalt der Blätter in % der Reinasche

Fagus silvatica

Mitte	Mai	13,83
„	Juli	42,34
„	October	50,66.

Juglans regia

Ende	Mai	26,86
„	August	53,65.

Aesculus Hippocastanum

Anfang	Mai	13,17
1.	September	40,48 etc.

Der Kalkgehalt (der hauptsächlich auf dem an oxalsaurem Kalk beruht) in den Zweigen wächst aber viel mehr als in den Blättern, wie folgende vergleichende Zahlen darthun:

Aesculus Hippocastanum

	Blätter	junges Holz	junge Rinde
6. Mai	13,17	5,92	9,24
1. September	40,48	50,99	61,34
	(ca. 3fache Menge)	(ca. 10fache Menge)	(ca. 7fache Menge)

Juglans regia

31. Mai	26,86	22,24	18,37
27. August	53,65	55,92	70,08
	(ca. 2fache Menge)	(über die 2fache M.)	(ca. 4fache Menge)

ebenso der der Blattstiele und jungen Zweige; ich glaube, es handelt sich hier nicht um eine Wanderung des Oxalats aus dem Blatt in den Stiel und in die Rinde der Zweige, wie *Schimper*[1] anzunehmen geneigt ist, sondern um eine Vermehrung des Kalkoxalats überall, eine Vermehrung dieses Salzes aber, die am intensivsten ist, gegen Ende der Vegetationsperiode im Blattstiel und in der Rinde der Zweige, wodurch eine scheinbare Wanderung nach unten vorgetäuscht wird. Es wird gegen Ende der Vegetationsperiode noch viel Kohlehydrat abwärts geleitet, was eine intensive Abscheidung von Kalkoxalat am Wege zur Folge hat, da ja Cellulose und Reservestärke daselbst in grossen Mengen zur Ablagerung kommt. Auch in das Mark der Zweige wandert Stärke in Masse ein, auch die Zellwände im Mark werden oft beträchtlich

[1] l. c. p. 100.

verdickt, auch hier im Mark muss Calciumoxalat entstehen (wie es der Fall ist), dessen Auftreten ohne diese Annahme räthselhaft bliebe.

Was geschieht mit dem primären Oxalat, wird es wieder gelöst oder bleibt es bestehen?

Dass primäres Kalkoxalat, Rhaphiden und Drusen, wieder aufgelöst wird, wenn der Pflanze von der Wurzel her nur kalkfreie oder kalkarme Lösung zugeführt wird, hat *Schimper* an *Tradescantia*pflanzen exact nachgewiesen. Soweit der Kalk des primären Oxalats reicht, kann er noch zur Ableitung von Kohlehydraten verwendet werden; ist er zu Ende, so stockt die Ableitung, die assimilirenden Blattzellen produciren unausgesetzt Stärke, ohne solche ableiten zu können, sie füllen sich so mit Stärke an, dass die Pflanze zu Grunde geht.

Wie nun bei Pflanzen, die unter normalen Vegetationsbedingungen stehen? Zieht man in Betracht, dass die Analyse in Knospen, welche im Herbst angelegt wurden, im Frühjahr einen geringeren Kalkgehalt nachweist, und dass das Mikroskop in eben an's Tageslicht getretenen Blättchen im Frühjahr auch eine vereinzeltere Lage der primären Kalkausscheidungen erkennen lässt, so liegt es nahe, ohne Weiteres eine Abnahme, ein theilweises Verschwinden des primären Kalkoxalats anzunehmen. Allein diese Abnahme des primären Salzes dürfte, soweit meine Erfahrungen reichen, häufig nur scheinbar sein. Durch jede, wenn auch noch so unbedeutende Grössenzunahme des jugendlichen Blattes rücken die primären Kalkausscheidungen allmälig auseinander, sie scheinen sich vermindert zu haben, und jede geringe Stoffzunahme im jungen Blattorgan lässt bei der Analyse den Kalkgehalt relativ geringer erscheinen. Ich bin mir gewiss, in sehr vielen, vielleicht den meisten, darauf untersuchten Pflanzen in alten Blättern noch das primäre Oxalat wiedergefunden zu haben, da das später hinzugekommene sekundäre in vielen Fällen, und solche habe ich hier nur berücksichtigt, sich schon in seiner Form von jenem unterscheidet. Um ein Beispiel anzuführen, sei erwähnt, dass in den in der Knospe liegenden jungen Blättern von *Crataegus Oxyacantha* neben Einzelkrystallen viele und grosse Drusen im Mesophyll neben einander liegen. Man kann an den sich entfaltenden Blättern nun ohne Schwierigkeit verfolgen, wie in Folge von Zellvermehrung die grossen Oxalatdrusen auseinander rücken und dann scheinbar an Menge abgenommen haben. Wenn das Blatt zu assimiliren

beginnt, stellt sich das sekundäre Oxalat ein, welches aber nicht wie jenes im Schwammparenchym, sondern im Palissadenparenchym der *Crataegus*blätter sich ausbildet in Form viel kleinerer Drusen, die sich nur langsam vergrössern und niemals die Dimensionen der primären Drusen erreichen. Beide Formen habe ich in grösserer oder geringer Menge auch noch im späten Herbst in den Blättern des genannten Baumes gefunden, ebensowohl in noch grünen, am Zweige festsitzenden, als in rothen und braunen bereits abgefallenen, weshalb ich der Aeusserung *Schimper's*, das Mesophyll der Blätter dieser Pflanze werde im Herbst beinahe krystallfrei (l. c. p. 98) nicht beistimmen kann.

Es wäre jedoch voreilig, hieraus folgern zu wollen, dass das primäre Oxalat überhaupt nicht wieder verschwinden könne; es ist vielmehr geboten, die Frage nach dem Verbleiben oder Vergehen des primären Salzes in die zwei zu zerlegen: 1) Nimmt dasselbe im Lauf der Entwicklung des Blattes ab, resp. verschwindet es ganz und 2) verschwindet es beim Erlöschen der Vegetation oder nicht? Die erste Frage ist meiner Meinung nach überhaupt nur casualiter zu beantworten, da man nicht weiss, ob nicht verschwindendes primäres Oxalat immer wieder durch neu gebildetes sekundäres ersetzt wird, brauchen doch auch Stärkekörner nicht an Zahl und Grösse trotz fortwährender Ableitung abzunehmen, wenn die Neubildung von Stärke gleichen Schritt hält. In sehr vielen Fällen verbleibt das primäre Oxalat sicher während des ganzen Sommers im Blatt und nimmt bis zur vollständigen Ausbildung des Blattes continuirlich zu, um, wenn dieselbe erreicht ist, in seinem Zustand zu verharren. Diesen Fall haben wir bei *Vitis vinifera*. Die primären Rhaphiden der Weinblätter nehmen mit der Ausbreitung des Blattes an Zahl und Grösse zu, um nach vollendeter Ausformung des Blattes zu bleiben, wie sie sind; ähnlich ist es, wie aus dem oben Gesagten hervorgeht, bei *Crataegus, Ampelopsis* und vielen anderen Pflanzen. Eine Anzahl von *Aroideen*, die ich auf diesen Punkt hin untersuchte, legten ebenfalls auf das unzweideutigste dar, dass das in Form von Drusen ausgeschiedene primäre Oxalat bei der weiteren Entwicklung der Blätter persistirt. Der entgegengesetzte Fall kam mir bei *Ficus elastica* vor Augen, bei welcher ich primäre Drusen des Blattes verschwinden sah.

Was nun die zweite Frage, die nach dem Schicksal des primären Salzes nach Beendigung der Vegetationsperiode, betrifft, so scheint mir, als ob sich dieselbe weit präciser beantworten liesse,

nämlich dahin, dass es bis zum Laubfall so verharrt, wie es bei Beginn des Herbstes vorhanden ist, ganz gleichgültig, in welcher Form es auftritt. Wir finden es z. B. bei *Syringa vulgaris* besonders in der Blattspitze in Form von Solitären, als welche es eben auch schon in der Herbstknospe uns entgegentritt, bei *Crataegus oxyacantha* und *Quercus*-Arten in Gestalt grosser Drusen, bei *Ampelopsis* in Form von Rhaphiden und Drusen und Zählungen beweisen, dass eine tiefgreifende Veränderung, eine weitgehende Verminderung des primären Oxalats wohl nirgends vorkommt. Von der Wanderung dieses Theils des Kalkoxalats kann nach meiner Erfahrung nicht gesprochen werden, und es ist nur eine Täuschung, wenn man das ausgewachsene Blatt für ärmer daran hält, weil durch den Wachsthumsprocess die primären Drusen, Solitäre, Rhaphidenbündel etc. an den äussersten Rand und in die Spitzen der Zähne hineingerückt sind. In ausgezeichneter Weise konnte ich das allmälige Auseinanderrücken der primären Rhaphidenbündel in Folge von Wachsthumsprocessen beobachten in den Blättern von *Testudinaria elephantipes*, welche Pflanze überhaupt dadurch schon interessant ist, dass sie zeitlebens nur Rhaphiden in allen ihren Theilen erzeugt. Die in jungen Blättern dicht neben einander liegenden Rhaphidenbündel entfernen sich mehr und mehr von einander, nur in der Blattspitze und am Blattrand bleiben sie dichtgedrängt liegen. Die Blätter von *Syringa*-Arten und sehr vielen anderen *Oleaceen*[1] enthalten das primäre Oxalat grösstentheils in Form von tetragonalen Einzelkrystallen in Oberhautzellen, während das sekundäre in Form von Drusen in den Palissaden- und Schwammparenchym erzeugt wird.

Das bisher Gesagte enthält in nuce bereits, was ich von der sogenannten Wanderung des Kalkoxalats denke: Das Wort „Wanderung" ist meiner Ansicht nach nur „metaphorisch" zu verwenden und aufzufassen. Ich nehme nicht an, wie *Schimper* es thut, dass Kalkoxalat als solches seinen Ort verändern, wohl aber, dass es in seine Bestandtheile zerlegt werden könne, welche dann gelegentlich an anderen Orten sich wieder zu dem Salz vereinigen mögen. Daraus folgt für mich, dass der Ort des Vorkommens des Kalkoxalats zugleich der Ort seiner jeweiligen Bildung ist und dass man aus dem Ort seines Auftretens Schlüsse auf die Vor-

[1] *Pirotta, R.* Contribuzione all anatomia comparata della foglia. I. Oleacee. (Annuario dell'Istituto botanico di Roma; vol. II. Roma. 1885.)

gänge machen kann, welche sein Entstehen an dieser Stelle verursachen. Der Sitz der primären Kalkoxalatbildung ist die chlorophyllfreie Zelle, denn in den jugendlichen Zellen, in denen wir das primäre Salz finden, ist von Chlorophyll noch keine Rede. Das sekundäre Oxalat wird nur in der chlorophyllhaltigen Zelle erzeugt, seine Entstehung ist an Chlorophyll und Licht gebunden. Der Ort der Bildung des tertiären Calciumoxalats ist vorgezeichnet durch Zuleitung von Kohlehydrat einerseits und die Deponirung von Stärke oder Cellulose andrerseits. Quartäres Oxalat endlich kann überall auftreten, wo oxalsaures Kali mit Kalksalzen einen Austausch der Säuren eingeht. Es sind mehrere Gründe, die mich veranlassen, der *Schimper*'schen Vorstellung der Calciumoxalat-Wanderung nicht beizustimmen. Erstens kann ich mir nicht vorstellen, in welcher Lösung das Calciumoxalat wandern soll. Wenn auch Pflanzenalbumin [1] Kalkoxalat in Lösung erhält, so kann ich doch nicht annehmen, dass dieses bei der Wanderung als Vehikel functionirt, denn dann müsste man wieder nach Ursachen suchen, aus denen dieses Lösungsmittel das Kalzsalz einmal in fester Form ausscheidet, das andere Mal nicht. Zweitens müsste man doch wohl im Stande sein, künstlich das in gelöster Form wandernde Kalkoxalat zur Ausscheidung zu bringen, etwa durch Alkohol oder sonstige Reagentien, was auch nicht gelingt. Die bisher über künstlich hervorgerufene Abscheidung von Kalkoxalat durch Kali, Alkohol etc. gemachten Mittheilungen von *Aé*[2], *Szabo*[3] und anderen scheinen mir nicht in dem Maase zuverlässig und stehen ausserdem zu vereinzelt da, als dass man auf sie einen grossen Werth legen dürfte. So lange ich mir nicht die leiseste Vorstellung darüber machen kann, in welcher Form, d. h. wodurch in Lösung erhalten, das Calciumoxalat wandern könnte und darüber auch durch andere Forscher keinen Aufschluss erhalten kann, nehme ich an, dass das Salz da, wo es verschwindet zersetzt wird und dort, wo es erscheint und von mir gesehen wird, entsteht, durch Vereinigung seiner beiden Componenten entsteht.

Verschwinden bereits gebildeten Salzes in der Pflanze ist nichts Seltenes, aber dasselbe braucht nicht Beginn einer Wande-

---

[1] *Schmidt, K.* Ann. Chem. Pharm. Nr. 61. p. 297.

[2] *Aé.* Flora. 1869.

[3] *Szabo, F.* Ueber die Gummigänge von Canna und Carludovica (Abhandl. der ungar. Akad. der Wiss. XI. 1881. Nr. 10.)

rung zu sein, sondern ist eben Zerfall des Salzes. Wo es abgeschieden wird, müssen seine Bestandtheile, Oxalsäure und Kalk, vorhanden sein, wo es verschwindet, werden Kalk und Säure für andere Stoffwechselprocesse disponibel, beide können verbraucht werden, ohne sich jemals wieder zu Kalkoxalat zusammenzufinden, denn man wird doch nicht annehmen wollen, dass Kalk und Säure weite Wege zurücklegen, um sich in einer bestimmten Zelle wieder zu vereinigen. Ein Nebeneinanderherwandern beider Componenten sei es auch in Formen, in der sie später sofort zusammentreten können, ist doch unwahrscheinlich, denn es wäre nicht einzusehen, warum sie denn nicht schon unterwegs in gegenseitige Verbindung treten. Bewegt sich aber jeder der Bestandtheile in Form einer neuen Verbindung fort, etwa der Kalk an ein Kohlehydrat gebunden, die Oxalsäure als solche, oder als lösliches Alkalisalz, so ist es naturgemäss nicht mehr statthaft, von einer Wanderung des Kalkoxalats zu sprechen. Der Sinn aller auf diesen Punkt sich beziehenden Sätze der *Schimper*'schen Abhandlung ist mir demnach nicht recht verständlich und ich sehe durchaus keinen Grund, die plasmaarmen Zellen, in welchen das Salz gewöhnlich aufgespeichert wird, nicht „als Bildungsstätten des Salzes" zu betrachten und halte für ganz rationell, aus dem Vorkommen des Kalkoxalats in der Umgebung der Blattnerven z. B. auf Beziehungen zur Ableitung der Assimilate zu schliessen.

Frank[1] beobachtete schon früher eine Auflösung von Calciumoxalat in den ausgewachsenen Schleimzellen im Innern der Knollen von Orchideen, *Sorauer*[2] in den reifenden Kartoffelknollen, *Aé*[3] bei der herbstlichen Entleerung der Blätter, beim Austreiben von Knospen und bei der Keimung vieler Samen. Die von *Pfeffer* als der kritischen Prüfung bedürftig bezeichneten Angaben *Aé*'s bezüglich der Keimungserscheinungen kann ich auf Grund meiner Beobachtungen bestätigen. Vom primären Kalkoxalat junger Blattanlagen habe ich bereits an anderer Stelle mitgetheilt, dass dasselbe nicht oder nur in nicht controlierbarer Menge sich vermindert. Für das sekundäre Oxalat ist das zeitweise Verschwinden in Blättern sicher nachzuweisen, denn viele Blätter, die im Sommer

---

[1] *Frank*, Jahrb. für wiss. Bot. 1866—67. Bd. 5. p. 181.

[2] *Sorauer*. Annal. d. Landwirhschaft. 1868. Bd. 52. p. 156. — *de Vries*. Landwirth. Jahrb. 1878. Bd. 7. p. 648.

[3] *Aé*. Flora 1869. p. 183.

viel Kalkoxalat in den Mesophyllzellen besitzen, sind im Herbst arm an solchem. Das tertiäre Salz ist meiner Ansicht nach dasjenige, welches am leichtesten zerfällt und seine Bestandtheile wieder in den Stoffwechsel eintreten lässt, das beweist sein Verschwinden beim Keimen von Samen aus dem Endosperm, oder den Cotyledonen, beim Austreiben von Knollen etc. Ob auch das quartäre Oxalat, einmal gebildet, wieder zerfallen kann, habe ich bis jetzt noch nicht mit Sicherheit constatiren können.

Wo und wann das Salz sich abscheidet, wird ein Säureverbrauch statthaben, wo und wann es zerfällt, eine Säurereproduktion. Da im Licht sekundäres Kalkoxalat entsteht, wird Oxalsäure gebunden, eine Entsäuerung am Licht findet statt, wie sie längst beobachtet aber auf wesentlich andere Ursachen zurückgeführt worden ist. Es kommt mir nicht in den Sinn zu behaupten, dass die Periodicität der Acidität des Zellsafts, die wohl allen Pflanzen eigen ist, einzig und allein hervorgerufen werde durch die periodische Bildung von Kalkoxalat in der Pflanze, aber ich halte es für nothwendig, dass dieser Vorgang, der sicher einen deutlich erkennbaren Aciditätswechsel veranlasst, bei der Beurtheilung jener Erscheinung und bei dem Versuche, dieselbe zu erklären, berücksichtigt wird, sind ja die Schwankungen im Säuregehalt relativ so gering, dass der angezogene Process wohl im Stande sein würde, derartige Schwankungen zu verursachen.

Es ist mir wohl bekannt, dass nach den Untersuchungen *Ad. Mayers*'[1] und *G. Kraus*'s[2] in den *Crassulaceen (Bryophyllum, Echeveria, Sempervivum)* und in *Mesembryanthemum* die Apfelsäure die Ursache der sauren Reaction ist und bei diesen Pflanzen der tägliche Aciditätswechsel seinen Grund nicht darin hat, dass die bei Nacht entstandene Säure am Tag durch Bindung an Kalk zum Theil neutralisirt wird, denn bei Kraus's Versuchen blieb die Menge das Kalkmalats Tag und Nacht unverändert; allein bei der Mehrzahl der übrigen Pflanzen haben wir es wohl nicht mit Apfelsäure, sondern mit Oxalsäure zu thun, und bei diesen ist eben die Zunahme des Kalkoxalats am Tage constatirt.

---

[1] *Mayer, Ad.* Landwirthsch. Versuchsstationen. Bd. XXI. p. 293 ff.
[2] *Kraus, Gr.* Acidität des Zellsaftes IV. p. 24.

OXALSAURER KALK IN PROTEÏNKÖRNERN.

Sehr verbreitet ist der oxalsaure Kalk als integrirender Bestandtheil vieler Proteïnkörner[1], in welchen er in Form von Solitären und Drusen allein oder neben Globoiden und Eiweisskrystalloiden leicht zu beobachten ist. Gewöhnlich führen alle Proteïnkörner entweder krystallische oder globoidische Einschlüsse, seltener finden sich beide Arten, aber getrennt in besonderen Körnern, in derselben Zelle. Bei *Vitis vinifera* liegen in jeder Zelle in einem besonders grossen Proteïnkorn ein oder einige Globoide oder eine Krystalldruse, seltener ereignet es sich, dass der Krystall oder die Druse von Globoidmasse umhüllt wird, was *Hartig*[2] an *Cissus antarctia* und *Corylus avellana* ebenfalls beobachtet hat (siehe Fig. 38 Taf. II). Enthält jede Zelle nur einerlei Einschlüsse, so ist oft eine bestimmte Vertheilung der globoid- und krystallhaltigen Zellen zu bemerken. Im Endosperm von *Silybum marianum* z. B. führen die mittleren Zellen jedes Cotyledon vorwiegend krystallinische, die äusseren kuglige Einschlüsse; mitunter reichen allerdings die krystallführenden Zellen bis in die Epidermis hinein, ähnlich ist es bei *Centaurea jacea* und *Scorzonera hispanica*, bei welcher letzterer Pflanze die Epidermiszellen wieder nur krystallinische Einschlüsse aufweisen. Noch anders verhält sich *Tragopogon major*, bei welcher Pflanze nur da, wo die beiden Samenlappen aneinander liegen, Krystalleinschlüsse in den Proteïnkörnern zu finden sind. Alle von *Pfeffer* untersuchten *Umbelliferen* haben beide Arten von Einschlüssen, ohne dass eine bestimmte Vertheilung der letzteren sich verriethe; unter ihnen ist *Aethusa Cynapium* die einzige Pflanze, die ausserdem noch Krystalloide zeigt. Bei *Paeonia* enthalten nur die inneren Endospermzellen kleine Krystalle von Kalkoxalat, die peripherisch gelegenen Zellen Globoide; *Cephalaria procera* besitzt in allen Endospermzellen kleine krystallinische Einschlüsse, die Embryonen beider zuletzt genannten Pflanzen schliessen in ihren Proteïnkörnern nur Globoide ein. Weiter sind durch krystallinische Einschlüsse ausgezeichnet die Proteïnkörner der Samen von *Berberis vulgaris*, *Staphylea pinnata*, *Helleborus foetidus*, *Corylus avellana*. Constant

[1] *Pfeffer*, *W.* Untersuchungen über die Proteïnkörner und die Bedeutung des Asparagins beim Keimen der Samen. (Prings. Jahrb. f. wiss. Botanik. Bd. VIII. p. 429 ff.)

[2] *Hartig*, *Th.* Bot. Ztg. 1856. p. 314.

für ganze Familien ist das Vorkommen krystallinischer Einschlüsse im Aleuron nicht immer, das beweisen die *Compositen* und *Ranunculaceen*, wenn auch alle bis jetzt untersuchten *Umbelliferen* solche Einschlüsse zeigen. Die Form der Kalkoxalateinschlüsse kann innerhalb derselben Zelle variiren, wie bei *Scorzonera hispanica*, bei der sich neben Hendyoedern lange prismatische Krystalle und Drusen finden. Drusen, eine in jedem Proteïnkorn, sind häufiger bei *Corylus, Aethusa Cynapium* und *Athamanta Mathioli*, zwei bis vier Drusen in einem Korn finden sich bei *Coriandrum*. *Silybum marianum* hat die Eigenthümlichkeit, dass bei ihm ein durch Grösse ausgezeichnetes Proteïnkorn eine grosse Druse die übrigen Körner nadelförmige Krystalle einschliessen, und ähnlich ist es bei *Centaurea Jacea*, nur dass bei dieser Pflanze kein Proteïnkorn durch besondere Grösse hervorragt.

Die Solitäre von Kalkoxalat in den Proteïnkörnern sind entweder monocline Tafeln, oft mit abgestumpften klinodiagonalen oder orthodiagonalen Kanten, (Fig. 1 Taf. I) (Lupinus luteus) oder lange prismatische Krystalle (Fig. 14 Taf. I) *(Scorzonera hispanica)*. Auch die sehr kleinen Krystalle von *Paeonia* und die Drusen von *Tragopogon* und *Cardiospermum Halicacabum* verrathen durch ihr helles Aufleuchten im Polarisationsmikroskop zwischen gekreuzten Nicols ihre Zugehörigkeit zum monoclinen System. Berührungs- und Durchkreuzungszwillinge sind ebenfalls in Proteïnkörnern beobachtet worden.

Dass die krystallinischen Einschlüsse der Proteïnkörner aus oxalsaurem Kalk bestehen, ist von *Pfeffer* für eine Anzahl von Pflanzen schlagend nachgewiesen, ob andere Pflanzen oxalsaure Magnesia an Stelle des Kalkoxalats enthalten, ist möglich, aber noch nicht untersucht. Die Drusen haben oft in ihrer Mitte einen aus Proteïnstoffen bestehenden Kern, den man am besten nach Entfernung des Kalkmangels durch Salzsäure und Zusatz von Jod erkennt.

Interessant und in mehr als einer Hinsicht aufschlussgebend ist es, dass die Blüthenblätter der Phanerogamen oft reichliche Mengen von Kalkoxalat in den mannigfaltigsten Formen enthalten, sowohl die ächten Petalen, als auch die Perigonblätter und die corallinisch ausgebildeten Kelchblätter. Da bei diesen Organen von einem ergiebigen Assimilationsprocess nur in seltenen Fällen die Rede sein kann, wird es sich meist um primäres Kalkoxalat

handeln, das gewöhnlich in Gestalt von Rhaphiden innerhalb von Schläuchen, welche parallel (selten schräg zu) den Längsachsen den Petalen sich erstrecken, zur Ausscheidung gelangt (so bei vielen *Liliaceen*, *Orchideen*, *Tradescantia*, *Polygonatum*. *Anthurium*, *Palmae*, *Rubiaceen*, *Onagrarieen* etc.) Bei einer geringeren Anzahl untersuchter Pflanzen. *Mesembryanthemum* etc., ist das primäre Oxalat der Blüthenblätter in Form von Täfelchen, bei *Begonia*-Arten, *Hoya carnosa*, *Aroideen* etc. von Drusen vorhanden. Staubblätter scheinen nur Rhaphiden zu enthalten. Ich brauche kaum hervorzuheben, dass sich die Blüthenblätter ganz besonders zum Studium des primären Oxalats eignen müssen, da ein störender Einfluss später gebildeten Salzes ausgeschlossen ist. In der That konnte ich an diesen Blattorganen leicht constatiren, dass primäres Calciumoxalat so lange producirt wird, als das betreffende Organ wächst, dass mit dem Wachsthum, besser Gesagt, mit der Neuanlage von Zellen, seine Ausscheidung erlischt. Was geschieht nun hier im Lauf der Zeit mit den Krystallen, persistiren sie oder verschwinden sie allmälig? *Koschewnikow* sagt darüber: „späterhin verschwinden sie (die Krystallschläuche) theilweise, vielleicht durch Auflösung der Rhaphiden, wie in verschiedenen vegetativen Organen oder durch Resorption der Scheidewände, wie dies *Hanstein* meint. Soweit meine Beobachtungen reichen, findet eine Auflösung des Calciumoxalats nicht statt, sondern die scheinbare Verminderung beruht auch hier auf einer Täuschung, dadurch veranlasst, dass durch Wachsthumsprocesse die vorhandenen Krystallmassen mehr und mehr von einander entfernt werden und am Ende weniger Rhaphidenbündel etc. auf die Flächeneinheit kommen, als im jugendlichen Organ, was besonders oft noch darin seinen Grund hat, dass während des Wachsthums producirtes Oxalat zum grössten Theil zur Vergrösserung der bereits vorhandenen Krystalle, nicht zur Bildung neuer Rhaphidenbündel, verwendet wird.

In den Blüthenblättern von *Trifolium hybridum* umgeben ziemlich lang gestreckte, verdickte, dem gewöhnlichen Baste anderer Organe analoge Fasern die Stränge; an der Peripherie dieser Faserbündel liegen in Längsreihen Zellen, wie ich sie später für *Pandanus*, *Musaceen*, *Hymenophyllaceen* etc. beschreiben werde, sogenannte Deckzellen, entstanden durch die Quertheilung langer

[1] *Koschewnikow, D.* Zur Anatomie der corallinischen Blüthenhüllen. (Schriften der neurussischen Ges. der Naturf. Bd. VIII. H. 1. p. 1—199. 1882. Odessa.)

prosenchymatischer Fasern, von welchen eine jede einen Kalkoxalatkrystall enthält und in charakteristischer Weise ihre Membranen verdickt. Das Kalkoxalat, hier sicher primär, verbleibt auch nach dem Abblühen in den Corollenblättern und fällt mit diesen ab. Von einer Wanderung ist auch hier Nichts zu sehen.

FEHLEN DES KALKOXALATS IM ZELLINHALT.

Bei der Mannigfaltigkeit der Erscheinungsformen des Kalkoxalats und der leichten Erkennbarkeit dieses Salzes, bei der grossen Verbreitung und der Wichtigkeit desselben in physiologischer und biologischer Hinsicht muss es verwundern, dass eine immerhin stattliche Anzahl von Pflanzen, deren Zahl sich freilich mehr und mehr verringert hat, des Kalkoxalats in fester Form und wohl überhaupt zu entbehren scheint.

In der Abtheilung der *Thallophyten* ist der oxalsaure Kalk bei relativ wenig Pflanzen vorhanden. Bei den *Algen* fand *Klein*[1] tetragonale Pyramiden in den grossen Gliederzellen zweier *Spiridien* neben kleinen Sphaeriten, wie er sie auch in *Vaucheria dichotoma* beobachtet hatte. In den *Vaucherien* kommen, wie *Woronin*[2] nachwies, ausser Sphaeriten auch noch tetragonale Pyramiden und einfache und kreuzartig verwachsene Prismen vor, letztere lang nadelförmig auch in *Spirogyra striata Kl.*, *Sp. setiformis* etc. Schöne tetragonale Pyramiden und langgestreckte Prismen fand ich in den Rindenzellen von *Halimeda Tuna Lamour.*

Im Pilzreich ist die Auf- und Zwischenlagerung von oxalsaurem Kalk eine so verbreitete Erscheinung, dass man vermuthen durfte, dieses Salz auch als Inhaltsbestandtheil der Pilzzelle allenthalben zu finden. Dem ist jedoch nicht so, wir kennen bis jetzt nur wenige Fälle. Bei *Russula adusta* liegen hie und da in den blasigen Zellen des Stieles und Hutes kleine stäbchenförmige Kryställchen, ferner sind grosse kugel- oder flaschenförmige Zellen des Myceliums von *Phallus caninus* (s. Fig. 37 Taf. I) oft ausgefüllt mit Sphaeriten mit kleiner centraler Höhle und deutlicher Radialstreifung und endlich bilden sich in den Fruchtträgern von *Pilobolus* mitunter eigenthümlich gestaltete sphaeritische Kalkoxalat-

[1] *Klein*, J. Algologische Mittheilungen. 4. Ueber oxalsauren Kalk und globoidartige Körper bei Algen. (Flora 1877. p. 315.)

[2] *Woronin*. (Bot. Ztg. 1880. p. 427.)

Concremente aus, die zuerst von *Cohn*[1] gesehen, von *Currey*[2] und *Coemans*[3] für unvollkommene Sporen des Pilzes gehalten wurden, bis *Klein*[4] ihre wahre Natur und Zusammensetzung feststellte. (Siehe Fig. 38 Taf. I.)

Auffallend grosse Mengen oxalsauren Kalkes entdeckte ich in den Fruchtkörpern der *Peziza nivea*, von welcher ich mir auf einem Stück Holz durch einfaches Befeuchten einen ganzen Rasen zog. Schon in sehr kleinen, ein paar Millimeter im Durchmesser habenden waren zwischen den Hyphen zahlreiche, oft grosse tetragonale Krystalle darstellende Oxalatconcretionen zu finden. Es erinnert diese Beobachtung an die von *de Bary*[5] an *Peziza Sclerotiorum* gemachte, nur dass hier jedenfalls auch eine gewisse Aufspeicherung von Kalk durch den Pilz selbst stattfinden musste, da ich nur gewöhnliches Flusswasser zusetzte, während *de Bary* kalkreichere Nährlösung verwendete. Die Kalkoxalat-Produktion der *Peziza nivea* ist eine ganz enorme, jeder Schnitt durch den Fruchtkörper erscheint unter dem Polarisationsmikroskop wie besät mit hellleuchtenden Flecken, die durch Solitäre oder traubige Gebilde dieses Salzes hervorgerufen werden. Merkwürdig ist, dass alle übrigen von mir untersuchten Pezizeen, *Peziza aurantia Oeder, P. cochleata DC., Lachaea scutellata L., Helotium citrinum Fr.* etc. gänzlich frei von Kalkoxalat waren.

Würde man für diesen auffallenden Mangel an Kalkoxalat bei den *Thallophyten* den Grund in deren häufig von der höherer Gewächse wesentlich abweichenden Lebensweise suchen können, so liesse sich diese Vermuthung nicht mehr in dem Masse in Anwendung bringen bei den *Bryo-* und *Pteridophyten*, da wir auf deren Stoffwechselprocesse und Ernährungsvorgänge im Allgemeinen dasselbe Schema anzuwenden gewohnt sind, wie auf die der phanerogamen Pflanzen. In der That theilen aber die *Moose* und *Farne* (im weitesten Sinne) mit den *Thallophyten* die Eigenthümlichkeit, gar kein oder relativ wenig Kalkoxalat zu erzeugen. Weder bei *Leber-* noch *Laubmoosen* hat dieses Salz bisher nachgewiesen werden können und eine von mir auf's neue unter-

[1] *Cohn, F.* (Nov. Act. A. C. L. C. XXIII. p. 524.)

[2] *Currey* citirt bei *Coemans* p. 51.

[3] *Coemans.* Morphologie und Physiologie der Pilze etc. p. 13.

[4] *Klein, J.* (Pringsh. Jahrb. für wiss. Bot. Bd. 8. p. 339.)

[5] *de Bary.* Ueber einige Sclerotinien und Sclerotienkrankheiten. (Bot. Ztg. No. 23. p. 400 ff.)

nommene Prüfung zahlreicher Moose im Polarisationsmiksroskop hat zu demselben Resultate geführt. Auch die Farne sind in der Mehrzahl Kalkoxalat-frei. *De Bary* führt als Ausnahme nur *Asplenium Nidus* an, in dessen Epidermiszellen er Krystalle dieses Salzes fand. Ich habe folgende Farne genau untersucht:

Todea barbara, Todea africana, Cibotium princeps, Cyathea medullaris, Alsophila australis, Balantium antarcticum, Rhipidopteris peltata, Acrostichum viscosum, Platycerium alcicorne, Gymnogramme chrysophylla, Polypodium rhodopleuron, P. pustulata, P. vacciniifolium, Pteris tremula, Blechnum brasiliense, Aspidium violaceum, Aspidium filix femina, Asplenium Odontites, A. falcatum, A. alatum, Lomaria gibba, Lomaria falcata, Microlepis hirta, Nephrolepis tuberosa, Woodwardia radicans, Neottopteris australasica, Hymenophyllum javanicum, H. demissum, H. nitens, Trichomanes reniforme, T. radicans, Scolopendrium officinale, Cheilanthes diksonioides, Ceterach officinarum.

Davon enthielten Krystalle in Blatt und Blattstiel

viele: *Aspidium violaceum, Lomaria gibba, Microlipis hirta*

sehr wenige: *Neottopteris australasica, Todea barbara, Gymnogramme chrysophylla, Asplenium falcatum, A. alatum, A. Odontites, Woodwardia radicans, Rhipidopteris peltata, Cheilanthes diksonioides* etc.

Es ist demnach der Mangel an Kalkoxalat bei den Farnen nicht allgemein, gewisse Gattungen, wie *Asplenium*, *Aspidium* etc. scheinen sogar in allen Arten Kalkoxalat zu führen, wenn auch die Quantität des Salzes oft eine geringe ist. Es mag damit in Zusammenhang stehen, dass viele Farne ausgesprochen kalkfliehend sind; ich erwähne als Beispiele nur *Asplenium septentrionale*[1], *Pteris*-Arten[2] etc.

In den von mir untersuchten *Selaginella*-Arten war kein Kalkoxalat vorhanden.

Ebenso fehlt den *Equiseteen* das Kalkoxalat ganz; ich habe darauf untersucht *E. limosum, arvense, telmateja, silvaticum, hiemale variegatum* und nirgends das Salz finden können.

---

[1] *Vallot, J.*, Note sur une station de l'Aplenium septentrionale sur le quartzite compacte de Lodève. (Bull. de la Soc. Bot. de France, XXX. 1883. p. XVIII—XXI.)

[2] *Contejean, Ch.* Quelques faits de dispersion végétale observés en Italie. (Compt. rend. des séances de l'Acad. d. scienc. de Paris. 1813. XCVI. p. 1383—85.)

Von den *Lycopodieen* enthalten nach meinen Untersuchungen Kalkoxalat, wenn auch relativ wenig, die Arten von *Lycopodium (Selago, clavatum, complanatum)* dagegen ist ganz frei davon *Psilotum triquetrum.*

Kommt in dieser Zusammenstellung genügend zum Ausdruck, dass die *Moose, Farne* und *farnähnlichen* Pflanzen zum grossen Theil ganz frei, zum kleineren Theil mit wenigen Ausnahmen sehr arm an Kalkoxalat sind, so involvirt diese Thatsache einen neuen Beleg für die exceptionelle Stellung, welche diese *Kryptogamen* gegenüber den *Phanerogamen* einnehmen, welche sich in vielen anderen Erscheinungen genugsam offenbart, denn sie weichen, was ich in's Gedächtniss des Lesers zurückrufen möchte, von der Mehrzahl der *Phanerogamen* ab durch die Fähigkeit, Lichtmangel besser zu ertragen, durch das damit in Zusammenhang stehende Zurücktreten der Etiolement-Erscheinungen, durch eine gewisse Unempfindlichkeit gegen Reizursachen, Licht, Schwerkraft etc., freilich Alles in der Natur auffallende Abweichungen, die noch der experimentellen Untersuchung bedürfen.

Unter den *Phanerogamen* kann ich als frei von Kalkoxalat bezeichnen: sämmtliche *Gramineae,* mit Ausnahme des aegyptischen *Panicum turgidum,* das im Parenchym des Stengel Drusen von Kalkoxalat enthält und der *Bambusa*-Arten, in welchen ich sehr häufig Kalkoxalat-Drusen, mitunter in jeder Markzelle eine, entdeckte. Den *Mais* erkannte schon *de Vries* als völlig oxalatfrei.

Dasselbe gilt von den von mir untersuchten *Cyperaceen, Scirpus-Spec. Isolepis* etc.

Auch die *Najadeen* entbehren zum Theil, abgesehen von den Blüthentheilen, des Kalkoxalats. Von den *Lemnaceen* sind schon früher die Arten der Gattung *Wolffia* als Kalkoxalatfrei erkannt. [1]

Die *Typhaceen* [1], welche man bisher für kalkoxalatfrei hielt, mit Ausnahme von *Sparganium*, das Rhaphiden aufweist, sind nicht mehr als hierher gehörig zu betrachten. Bei *Typha latifolia* fand *Paschkewitz* [2] nicht nur Rhapiden sondern auch Drusen und prismatische monocline Krystalle, und zwar die Rhapiden im Grundgewebe des Stengels, in den Blättern und in der Rinde des

[1] *de Bary*, Vergl. Anat. der Vegetationsorgane. p. 149.

[2] *Paschkewitz*, *W.* Ueber Krystalle in *Typha latifolia.* Sitzber. d. bot. Sect. d. St. Petersb. Naturforschergesellsch. 20. Nov. 1880.)

Rhizoms und der Nebenwurzeln, die Drüsen im Blatt und die Prismen im Bast der Stränge von Blättern und Stengeln. Ganz ebenso verhalten sich nach meiner Prüfung *Typha augustifolia* und *T. minima*.

Dicotyledonen ohne Kalkoxalat sind eine Seltenheit. *De Bary* führt *Nicandra physaloides* und *Petunia nyctaginiflora* als frei von dieser Substanz an, allein nicht mit Recht, denn beide enthalten nach meinen Untersuchungen Kalkoxalat. Ohne dasselbe fand ich allein solche Pflanzen, welche sich durch ihre Lebensweise von den anderen wesentlich unterscheiden, nämlich parasitisch lebende und insectivore. So fehlen Kalkoxalatkrystalle den meisten *Rhinanthaceen* und allen *Orobancheen*, mit wenigen Ausnahmen *(Utricularia montana)* auch den *Utricularien* und den Arten der Gattung *Pinguicula*.[1] Dass der Parasitismus von *Viscum* und *Loranthus* ein wesentlich anderer ist, als der der obengenannten Gewächse scheint auch darin zum Ausdruck zu kommen, dass letztere beiden Gattungen in allen ihren Arten reichlich Kalkoxalat aufweisen und zwar in die verholzten Steinzellen (nicht Bastfasern) der primären und sekundären Rinde und mitunter des Markes eingebettet. *Loranthus europaeus*[2] besitzt ausserdem noch Krystallschläuche mit monoclinen Solitären im Parenchym des Stengels.

DER MEMBRAN AUFGELAGERTES KALKOXALAT.

Auflagerungen von oxalsaurem Kalk sind im Allgemeinen nicht gerade häufig. Einzelne Pilze verdanken ihr kreidiges Aussehen zum Theil, mitunter ganz, aufgelagertem (neben eingelagertem) Calciumoxalat.

Die reife Sporangiumwand von *Mucor Mucedo* bedeckt sich beim Reifen allmälig mit einem dichten pelzartigen Ueberzuge von nadelartigen Krystallen, welche zurückbleiben, wenn man reife Sporangien in Wasser zerfliessen lässt.[3] In ähnlicher Form liegt das Salz auf dem Mycel von *Agaricus campestris*, *A. aerugi-*

[1] Diese Angaben finden ihre Bestätigung in einem Aufsatze von *Hovelacque*, *M.*, Recherches sur l'appareil végétatif des Bignoniacées, Rhinanthacées, Orobanchées et Utriculariées. Paris. Mason 1888.

[2] *Marktanner-Turneretscher*, *G.* Zur Kenntniss des anat. Baues unserer Loranthaceen. (Sitzungsber. der Ak. der Wiss. Wien 1885. Bd. 91, 1. Abth. p. 430—441.)

[3] *Brefeld*, *O.* Schimmelpilze. Heft 1. p. 18.

nosa etc., in Gestalt winziger Körnchen oder Octaëder (tetrag.) auf den Mycelhyphen vegetativer Organe, Fruchtkörper Hymenium etc. bei *Ag. nebularis*, *A. praecox*, *A. vulgaris*, *A. dryophilus*, *Corticium calceum*, *Telephora hirsuta*, *Coprinus micaceus*, *Leuzites*, *Nyctalis*, *Polyporus officinalis* etc. [1]

Der äussere weisse lufthaltige Theil der perennirenden Myceliumstränge von *Phallus caninus* hat seine Farbe zum Theil vom Luftgehalt, hauptsächlich aber von einer reichlichen Ablagerung oxalsauren Kalkes, der sich vorzugsweise zwischen den Hyphen und auf der Aussenseite der oberflächlich gelegenen in Form kleiner, unregelmässiger, eckiger Krystalldrusen findet, welche den Hyphen anhängen und dieselben oft dicht incrustiren; bisweilen kommen zwischen den Drusen regelmässige Octaëder vor. Bei *Phallus impudicus* sind die spiralig um den Markcylinder gewickelten Hyphen der Mycelstränge mit zerstreuten kurzen Zweigen besetzt, welche als feine Haare von der Oberfläche abstehen. Letztere sammt den Haaren ist dicht incrustirt von stabförmigen Kalkoxalatkrystallen. [2] Auch *Clathrus*-Arten besitzen in der Rinde ihrer Mycelstränge Oxalatkrystalle. [3] Im Thallus von *Corticium calcareum* und in dem vieler *Lecanoreen*, wie *Psoroma lentigerum*, *Ochrolechia tartarea*, *Placodium saxicolum*, *Urceolaria scruposa* etc. treten in den Marklücken grosse Solitäre von Kalkoxalat auf, *Sphaerothallia esculenta* Nusal Es. *(Lichen esculentus Pall. Lecanora esculenta Eversm. Chlorangium esculentum Link)* sowie *Chlorangium Jussufii* lassen körnige Incrustationen im Mark erkennen, die so mächtig werden können, dass der Gehalt der Flechte an Kalkoxalat 65 p. c. und mehr beträgt. Die *Pertusarieen* führen oft grosse Aggregate von Oxalat-Krystallen in ihrem Thallus. Unter den laubartigen Flechten sind als Oxalat-haltig zu nennen *Endocarpon*, unter denen mit strauchartigem Thallus *Rocella fuciformis* (junge Zweige) und *Thamnolia vermicularis* (in Rinde und Mark), bei welchen das Salz in Form kleiner Körner oder Stäbchen zwischen die Hyphen eingelagert ist. — Die weissen Myco-

[1] *Patouillard, N.* Des Hyménomycètes au point de vue de leur structure et de leur classification. (Journ. de Microgr. t. 8. p. 38—166.)

[2] *De Bary.* Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Pilze. I. Reihe. Basel 1888.

[3] *Fischer, Ed.* Versuch einer system. Uebersicht über die bisher bekannten Phalloideen. Berlin 1886.

rhizen verdanken nach *Frank*[1] ihre Farbe zum Theil einem Ueberzug mit vielen sehr kleinen Kryställchen von oxalsaurem Calcium.

Noch seltener als bei den Kryptogamen sind die Auflagerungen von Calciumoxalat bei den Phanerogamen. Ich habe dieselben beobachten können in den chizogenen Luftkanällen von *Nymphaea alba*, *Nuphar luteum* und *Nelumbium speciosum*, bei welchen Pflanzen sich im Lauf der Entwicklung die die Luftkanäle begrenzenden Zellwände mit kleinen monoclinen Oxalatkryställchen bedecken. Die mit ihren Zweigen in die Luftgänge hineinragenden Haare lassen nach Behandlung mit Säuren deutlich erkennen, dass bei ihnen die Kalkoxalatkrystalle in die Membranen eingelagert sind. Die Lösung jener aufgelagerten Krystalle geht daher ziemlich rasch vor sich, die der in die Membran der Haare eingelagerten dagegen äussert langsam. Letzere werden, wie *Schenk*[2] früher beobachtete, und ich jetzt habe bestätigen können, vom Protoplasma der Grundgewebshaare abgeschieden, an die Innenseite der Primärwand angelagert und, indem sie zu ihrer definitiven Grösse heranwachsen, von den inneren Verdickungsschichten eingeschlossen, wobei sie gleichzeitig etwas nach aussen geschoben werden. Sie sind nach aussen stets von einem dünnen Häutchen überzogen. Die gegentheilige Behauptung *Molisch's*[3] ist falsch, was schon daraus folgt, dass nach Einwirkung von Salzsäure auf die Haargebilde die Stellen, an denen Krystalle lagen, hervorgewölbt bleiben, während sie, wäre *Molisch's* Annahme richtig, dann nur noch als Grübchen, aus denen die Krystalle entfernt worden, erscheinen dürften.

Hierher gehört auch das Vorkommen von Oxalatkrystallen, welches ich in den Intercellularräumen des Blattes von *Dracaena fragrans* beobachtet habe. Während nach *Pfitzer*[4] eine Anzahl Arten der Gattung *Dracaena* Einlagerung von Kalkoxalatkrystallen

---

[1] *Frank*, *B.* Ueber neue Mycorhiza-Formen (Ber. d. D. Bot. Ges. J. 1887. H. 8. p. 397 ff.)

[2] *Schenk*, *H.* Untersuchungen über die Bildung von centrifugalen Wandverdickungen an Pflanzenhaaren und Epidermen. (Inaug.-Diss. Bonn 1884.)

[3] *Molisch*, *H.* Zur Kenntniss der Einlagerung von Kalkoxalatkrystallen in der Pflanzenmembran. (Oesterr. bot. Zeitschr. XXXII. 1882. No. 12. p. 382—85.)

[4] *Pfitzer*, *E.* Ueber die Einlagerung von Kalkoxalatkrystallen in die pflanzliche Zellhaut. (Flora 1872. No. 7. p. 97 ff.)

in die Cuticularsschichten der Epidermis erkennen lässt, sah ich auf Quer- und Längsschnitten durch das Blatt von *Dracaena fragrans* zahlreiche Krystalle des genannten Salzes in den Intercellulargängen ausgeschieden, so dass die breite rhombische Seitenfläche den Zellwänden anliegt. Fig. 24 Taf. II zeigt eine Mesophyllzelle in der Längsansicht. zzz ist das Stück der vorderen Zellwand, welches an die nach dem Beschauer zu liegende benachbarte Zelle grenzt und durch elliptische Tüpfel ausgezeichnet ist. Rings um dieses Flächenstück liegt Intercellularraum iii, der mit zahlreichen monoclinen Krystallen kkk angefüllt ist. Dass nicht eine Täuschung hier obwaltet, lehrt jeder Blattquerschnitt, der viele Intercellulargänge so erscheinen lässt, wie ich in Fig. 27 Taf. II wiedergegeben habe.

DER MEMBRAN EINGELAGERTES KALKOXALAT.

Ausserordentlich verbreitet ist oxalsaurer Kalk in Form der Einlagerung in die Cellulosemembran, wobei es von untergeordneter Bedeutung ist, ob er dabei Krystallform zeigt oder in Gestalt kleiner Körner in die Cellulose eingebettet ist.

Bei den *Kryptogamen* ist diese Erscheinungsform relativ selten; bei manchen Flecken kommt neben aufgelagertem Oxalat auch eingelagertes vor, so bei *Psoroma lentigerum*, dessen ganze Rinde bei durchfallendem Licht undurchsichtig, bei reflectirtem Lichte weiss ist durch die dicht gedrängten Körnchen des Salzes. *Thalloidium candidum* verdankt seinen Namen ebenfalls (auf- und) eingelagertem Kalkoxalat. Ebenso ist es vorhanden bei vielen *Hymenomyceten*[1], wo es in früher Jugend des Pilzes entsteht, später aber an Menge nicht merklich zunimmt. Auch bei den *Phalloideen*, *Clathreen*, *Nidularieen*, *Carpoboli* und *Geastrideen* unter den *Gasteromyceten* und den *Tremellini* sind vereinzelte Fälle solcher Einlagerungen bekannt geworden.

Unter den Kalk-Algen isi *Acetabularia* dadurch von allen übrigen ausgezeichnet, dass ihre Membranen ausser Calciumcarbonat auch noch Oxalat in Körnerform enthalten. Es findet sich hauptsächlich in den inneren Membrantheilen und jüngeren Theilen der Pflanze überhaupt, so zwar, dass im Stiel nach oben hin die

[1] *Patouillard*, *N.* Des Hyménomycètes au point de vue de le leur structure et de leur classification. (Journ. de Microgr. t. 8. p. 38—166.)

Oxalatmenge zunimmt und im Schirm fast ausschliesslich Oxalat vorhanden ist, während in den älteren Theilen, im unteren Stiel, in den äusseren Membranschichten das Carbonat praevalirt.

Innerhalb der *Gymnospermen* ist das Auftreten des oxalsauren Kalkes in der Membran sehr verbreitet; wir finden ihn bei den meisten *Coniferen*[1] und zwar bei den *Cupressineen (Biota orientalis, Cunninghamia sinensis, Sequoia gigantea, Cryptomeria japonica, Frenela spec., Librocedrus Doniana, chilensis, Thuja occidentalis, Fitzroya patagonica, Chamae cyparis squarrosa, Juniperus Oxycedrus, J. virginiana, J. sabina)*, den *Podocarpaceen (Podocarpus andina, spicata* [*Dacrydium Mai Hort.*] *Dacrydium Franklinii)*, den *Araucarieen (Araucaria excelsa, Bidwillii, imbricata)* den *Taxineen (Taxus, Cephalotaxus)* und endlich den *Gnetaceen (Welwitschia mirabilis, Ephedra sp., campylopoda)*.

Durch vollständiges Fehlen solcher Einlagerungen in die Membran zeichnen sich *Phyllocladus trichomanoides, Gingko biloba, Dammara australis* und alle *Abietineen* aus.

Hartig,[2] *Frank*[3] und *N. J. C. Müller*[4] waren bereits früher auf diese Einschlüsse aufmerksam geworden, ohne ihre wahre Natur erkannt zu haben, *Hartig* sprach von „Füllung der Intercellularräume mit körnigen Säften", *Frank* hielt sie für aus dichterer Cellulosesubstanz bestehende Concretionen, während *N. J. C. Müller*, ihre Substanz gleichfalls für Cellulose haltend, in ihnen nach der Bildung der Intercellularräume entstandene, locale centrifugale Verbindungen der Zellmembran erblickte. Erst *Solms-Laubach* wies überall oxalsauren Kalk nach, nachdem allerdings *Hofmeister*[5] die Einschlüsse der Spicularfasern von *Welwitschia mirabilis* zuerst als solchen erklärt hatte. In Bezug auf alle Einzelheiten verweise ich auf die oben citirte Abhandlung *Solms-*

---

[1] *Solms-Laubach, H. Graf zu.* Ueber einige geformte Vorkommnisse oxalsauren Kalkes in lebenden Zellmembranen. (Bot. Ztg. 1871. Nr. 31. p. 509—550.)

[2] *Hartig, Th.* Forstliche Culturpflanzen. II. 2. Erkl. d. Taf. X. Juniperus-Taxus. Tab. X. f. 2. 3. 4.

[3] *Frank, A. B.* Beitrag zur Kenntniss der Gefässbündel. (Bot. Ztg. XXII. 1864. p. 160 u. 162.)

[4] *Müller, N. J. C.* Unters. über die Vertheilung der Harze im Pflanzenkörper. (Pringsheim's Jahrb. V. p. 404 u. 405. t. 48. f. 9.)

[5] *Hofmeister, W.* D. Lehre von der Pflanzenzelle. Leipzig 1867 p. 246.

Laubach's und gebe hier nur einen allgemeinen Ueberblick über die dort behandelten Erscheinungen.

Mit *Biota* stimmen die *Cupressineen* darin überein, dass sich bei ihnen die Einlagerungen im Bastkörper aller Stammtheile finden und zwar in der Mittellamelle der radialen Zellwandstücke, oft die ganze Substanz dieser Lamelle erfüllend oder nur deren Medianebene bezeichnend. Der Innenlage gehen sie dagegen in allen Elementen des Bastes ab. Die Einschlüsse sind Körperchen, die von verschiedenartig gekrümmten Flächen begrenzt werden, mitunter einzelne Ecken aufweisen und öfters sogar krystallinisches Ansehen bieten oder endlich wirkliche Krystalle darstellen. In der Nähe des Cambiums punktförmig klein und sparsam vertheilt, nehmen sie nach aussen rasch sowohl an Zahl als an Grösse zu.

Verhältnissmässig gross und nicht allzu dicht gedrängt sind die Einschlüsse bei *Sequoia gigantea* und *Fitzroya patagonica*, äusserst sparsam bei *Librocedrus*. *Dacrydium Franklinii* schliesst sich in allen Stücken an die *Cupressineen* an. Besonders reich sind *Saxe-Gothaea* und *Podocarpus*, *Araucaria* und *Ephedra*, während man nach den spärlichen Einlagerungen suchen muss bei *Prumnopitys elegans Phil.* In der Bastregion der die Blätter der *Coniferen* durchziehenden Gefässbündel sind gleichfalls nirgends derartige Einlagerungen vorhanden und fehlen selbst bei denjenigen *Cupressineen*-Formen, bei welchen der Bast der Zweige von ihnen strotzt. *Taxus baccata* und *Cephalotaxus Fortunei* besitzen die Einlagerungen nicht in der Mittellamelle wie die bisher genannten Pflanzen, sondern in der Innenlage der Zellmembranen und zwar am reichlichsten in den dem Cambium zugewendeten tangentialen Zellwänden; hier sind die weitaus meisten Körnchen regelmässig ausgebildete Krystalle, die bei *Cephalotaxus Fortunei* recht stattliche Dimensionen erreichen. In viel weiterer Verbreitung noch als in dem Basttheil der *Coniferen* kommt der oxalsaure Kalk der Membran incorporirt im primären Rindenparenchym dieser Pflanzen vor. Auch die beträchtlichen Quantitäten dieses Salzes in den Blattzellen sind, wie *Solms-Laubach*[1] nachweist, zumeist der Innenmembran, wenn auch sehr oberflächlich, eingelagert. Obgleich sie häufig in das Zellinnere hineinragen, haften sie nicht etwa nur der Membran innen an; dies ergiebt sich daraus, dass sie mit dieser fest verbunden bleiben, wenn man den Plasma-

[1] *Solms-Laubach*, l. c. p. 522.

schlauch zur Contraction bringt, dass sie ferner auf keinerlei Weise zu bewegen sind etc. Die einzelnen oder zu geschlossenen Bündeln vereinigten überall das parenchymatische Gewebe der *Coniferen* durchsetzenden verholzten Prosenchymzellen, welche mitunter stark verzweigt sind (Spicularzellen), beherbergen ebenfalls in ihren Wandungen Krystalle oxalsauren Kalkes. Bekanntlich entdeckte solche Fasern zuerst *Hooker*[1], ohne freilich über die chemische Zusammensetzung der Einschlüsse, welche er nach *Frankland's* Ausspruch für kieselsäurehaltig ansah, in's Klare zu kommen. *Colonel Philip Yorke*[2] gelang es zwar, zu constatiren, dass ihre Substanz nach dem Glühen wie kohlensaurer Kalk reagire, er liess sich aber, indem er die nach Lösung hinterlassenen Hohlräume mit den Krystallen selbst verwechselte, durch die scheinbare Unlöslichkeit in Salz- und Fluorwasserstoffsäure irre führen. Erst *Hofmeister*[3] erkannte sie als Kalkoxalat. Die *Welwitschia* weist in allen parenchymatischen Geweben, sowohl in der Rinde als im Innengewebe des Stammes und der Blätter solche Krystallfaserzellen auf, welche, den primären Rindenparenchymzellen diametral gegenüberstehend, gerade in ihrer äussersten Schicht Krystalle einschliessen, aber ohne dieselben mit einer Cellulosedecke zu überziehen. Aehnliche verholzte Krystallfaserzellen mit fast obliterirtem Lumen finden sich bei *Araucaria*, *Dammara* und *Sciatopitys*. An der Aussenwand der Epidermiszellen kommen ebenfalls häufig Incrustationen von Kalkoxalat in je nach den einzelnen Fällen nicht unbeträchtlich abweichender Lagerung vor. So fand *Solms*[4] bei einer nicht näher bestimmten *Ephedra*-Art zwei verschiedene Körnerzonen, von welchen die eine den Cuticularschichten, die andere stärkere, aus grösseren Kalkkörnchen bestehende den Celluloseschichten angehört. Andre *Ephedra*-Species lassen wesentliche Verschiedenheiten wahrnehmen. Bei *E. Alte C. A. Mey* und *E. macrostachya* ist die Aussenzone grobkörniger als die wenig ausgebildete innere, welche bei der letztgenannten Art sogar ganz fehlen kann. *E. campylopoda* ist ebenfalls ohne innere Zone, die äussere aber erlangt eine auffallende Mächtigkeit. Die Epidermis

[1] *Hooker*, *J. D.* Linn. Transact. XXIV. 1883. p. 12. tabb. 12 und 14.

[2] *Col. Phil. Yorke*, On the Spiculae contained in the wood of Welwitschia and the Crystals pertaining to them. Letter to Dr. J. D. Hooker; Journ. of the Proc. of the Linnean Soc. vol. VII. 1864. p. 107.

[3] *Hofmeister*, *W.* l. c. p. 246.

[4] *Solms-Laubach* l. c. p. 534 ff.

von *E. distachya* entbehrt jeder Kalkeinlagerung. Die Aussenwand jeder Epidermiszelle der *Dammara australis*, fast nur aus Cuticularschichten bestehend, beherbergt in ihrer Mitte eine breite Zone von Einschlüssen. *Taxus baccata*, *Cephalotaxus Fortunei*, *Widdringtonia juniperoides* schliessen sich eng an die zuerst betrachtete *Ephedra*-Species an, *Podocarpus andina* und *P. Cunninghama* an *E. campylopoda*, *Saxe-Gothaea* und *Fitzroya* an *E. distachya*. Bei *Prumnopitys elegans* liegt in der Aussenwand einer jeden Epidermiszelle nur eine breite bogenförmige Einlagerungszone, welche sich beiderseits bis an die Grenzlamellen erstreckt und an die sich die in den Basal- und Seitenwänden der Zellen zahlreich vorhandenen Einschlüsse anschliessen. Nach innen folgt ein schmaler Cellulosesaum, nach aussen überlagern die Cuticularschichten. Aehnlich ist es bei der Epidermis von *Welwitschia*, bei welcher die Körnerregion innerhalb der Cuticularschichten, aber nicht in deren Mitte sich findet, sondern nach unten direkt an die Cellulosesschicht angrenzt, oben von der Cuticula aber durch einen schmalen körnerfreien Saum aus dichter Substanz getrennt ist. Deutlich ausgebildete Krystalle sind, im Gegensatz zu den unregelmässig gestalteten Körnern, in der Aussenwand der Epidermis ziemlich selten. Wenn sie auftreten, sind sie immer den Cuticularschichten einverleibt, so bei *Libocedrus Doniana*, *Biota orientalis* und *Juniperus Sabina*.

Ein ausgezeichnetes Untersuchungsobjekt ist die *Araucaria brasiliensis*. Bei ihr sind im Weichbast Hartbastfasern von rundlich-viereckigem Querschnitt und mit fast ganz reducirtem Lumen verstreut, welche durch die grosse Menge ihren Wandungen eingelagerter Krystalle den Spicularzellen der *Welwitschia mirabilis* analog sind. Ausserdem aber liegen neben Bastfasern im Rindenparenchym des Stammes grosse verholzte und verzweigte, mehr oder weniger verdickte Sklerenchymzellen, deren Membranen zahlreiche, wohl ausgebildete Krystalle eingelagert sind. Aehnlichen Zellen begegnet man in den Blättern. Die Krystalle sind, wie *Winkler*[1] sowohl für die genannte Art, als auch für *Araucaria imbricata*, *excelsa* und *Cunninghami* zu constatiren vermochte, schon zur Zeit der Differenzirung der einzelnen Gewebe als feine Pünktchen sichtbar, wachsen nach und nach heran, ohne noch deutliche Ecken und Kanten auszubilden und erscheinen endlich als sechs-

[1] *Winkler, C.* Zur Anatomie von *Araucaria brasiliensis*. Botanische Zeitg. 1872. p. 597 u. ff.

eckige flache Tafeln (basische Pinakoide) und Zwillinge verschiedener Form von der Grösse 0,0026—0,0053 μ. In der Wurzel sind sie in der Regel grösser (0,0065 μ). In den Figg. 28, 29 u. 30, Taf. II sind die Krystallzellen der *Ar. brasiliensis* abgebildet. Fig. 28 stellt 4 Bastfasern der Stammrinde im Querschnitt dar, Fig. 30 ein Ende einer solchen isolirten Bastfaser; Fig. 29 eine Sklerenchymzelle ebenfalls aus der Rinde des Stammes.

Seltener sind solche Einlagerungen bei den *Angiospermen*. *Pfitzer*[1] beobachtete schön ausgebildete Krystalle in den Blättern von *Dracaena reflexa Lam., arborea Link., Draco L., umbraculifera Jacq.*, *Molisch*[2] in denen von *Dracaena surculosa var. verticillata* und *Aletris fragrans* im ganzen parenchymatischen Gewebe, aber vorzugsweise in der Oberhaut. Die nach aussen gekehrten Wände der Epidermis beider Blattseiten erscheinen auf dünnen Flächenschnitten von zahlreichen, sehr regelmässig begrenzten Krystalltäfelchen von rhombischer Form durchsetzt, deren grösste Diagonale eine Länge von 0,007 μ erreicht. Zwischen diesen Täfelchen liegen zahlreiche kleine eckige Körnchen von Kalkoxalat, welche ausserdem noch häufig und ausschliesslich in den auf der Blattfläche senkrecht stehenden Wänden der Epidermiszellen eingebettet sind und zwar in der Mittellamelle. Fig. 26, Taf. II ist die Flächenansicht der Epidermis der Blattoberseite von *Dracaena reflexa*. Fig. 25, Taf. II stellt eine querdurchschnittene Epidermiszelle des Blattes derselben Pflanze dar. a Cuticularschichten mit dem Kalkoxalat k k, b Innenschichten.

Unter den Dicotyledonen sind die *Schizandreen* ausgezeichnet durch den Besitz von Spicularfasern, in deren Wandungen Kalkoxalatkrystalle eingelagert sind; diese Fasern treten in Mark und Rinde so regelmässig bei den Angehörigen dieser Familie auf, dass sie für dieselbe charakteristisch und systematisch verwerthbar sind[3].

Ferner sind in den Wänden der Steinzellen der primären

[1] *Pfitzer*, *E.* Ueber die Einlagerung von Kalkoxalat-Krystallen in die pflanzliche Zellhaut. (Flora. 1872. p. 97—136).

[2] *Molisch*, *H.* Zur Kenntniss der Einlagerung von Kalkoxalatkrystallen in der Pflanzenmembran. (Oesterr. bot. Zeitschr. XXXII. 1882. Nr. 12. p. 382—85.)

[3] *Solereder*, *H.* Ueber den systematischen Werth der Holzstruktur bei den Dicotyledonen p. 39.

und sekundären Rinde und des Markes von *Loranthus Europaeus*[1] Oxalatkrystalle beobachtet worden. *Loranthus eucalyptoides DC.* aus Neuholland führt solche Steinzellen überall in der Rinde verstreut, während bei *L. sp.* n. 386 Coll. Soyaux (Westafrika) den *Welwitschia*-Spicularzellen ganz ähnliche Faserzellen beobachtet wurden. Die oxalsauren Kalk-Krystalle sind sowohl den äussersten als innersten Membran-Schichten eingebettet, manchmal füllen sie sogar das Lumen der Zelle aus. Die Krystalle der exotischen Arten sind grösser (35—21 μ) als die von *L. Europaeus* 20—10 μ).

In den Intercellulargangshaaren von *Nymphaea* und *Nuphar* erkannte schon *Mohl* die etwas hervorragenden Höcker als Kalkoxalat-haltig. Wie ich bereits pag. 70 erwähnt, sind diese Höcker Calciumoxalatkrystalle, der Membran des Haares in der frühsten Jugend von innen angelegt und später von inneren Verdickungsschichten überlagert und etwas nach aussen gedrängt, wodurch sie eben als kleine Erhebungen über die Oberfläche des Haares hervorragen (Figg. 20 u. 23, Taf. II). *Molisch's* Annahme, sie seien der Membran von aussen aufgelagert und nur etwas eingesenkt in die Wand des älteren Haares, ist nicht richtig, denn die durch die Krystalle veranlassten Hervorragungen verbleiben auch nach Behandlung mit Salzsäure, während sie bei blosser Auflagerung der Krystalle verschwinden müssten.

Endlich sind zwei Gattungen ganz besonders hervorzuheben, deren zahlreiche Arten in den einzelnen Schichten der Aussenwand der Blatt-Epidermiszellen feine Körnchen oder eckige grössere Stückchen *(Sempervivum)* von krystallinischem oxalsauren Kalk enthalten: *Mesembryanthemum* und *Sempervivum*[2]. Von ersterer Gattung führe ich als gute Untersuchungsobjecte an *M. rhombeum, tigrinum, incurvum, lacerum, stramineum, Lehmanni*, von der zweiten *Sempervivum calcareum.*

In der Epidermis von *Mesembryanthemum* sind die Einlagerungen wesentlich auf die Aussenwand beschränkt. In der unteren und seitlichen Wand fehlend oder nur hier und da in vereinzelten Individuen vorkommend *(M. lacerum, M. stramineum)* liegen sie

[1] *Mentovich, Ferenc.* Beiträge zur Kenntniss der Loranthus-Rinden, mit bes. Rücksicht auf die krystallführenden Idioblasten. (Magy. Növényt. Lapok. VII. 1883. Nr. 74. p. 17—23.)

[2] *Solms-Laubach, Grafzu.* Ueber einige geformte Vorkommnisse oxalsauren Kalkes in lebenden Pflanzenmembranen. (Bot. Ztg. 1871. p. 509 u. 543.)

immer den Celluloseschichten und füllen dieselben nicht selten ganz aus. In *Mesembryanthemum Lehmanni* sind die Körnchen so dicht gruppirt, dass die ganze Zone als eine homogene verkalkte Substanz erscheint, ähnlich bei *M. lacerum*. In allen Fällen besitzen die Kalkoxalat-Körnchen eine in der Richtung der nicht sichtbaren Schichtung abgeplattet rundliche Form und erscheinen um so mehr abgeplattet, je dichter sie liegen. Bei der Flächenbetrachtung der Epidermis erblickt man eine dichte trübe Körnelung, welche bei Säurezusatz schwindet. Was nun die Einlagerungen von *Sempervivum* betrifft, so ist zunächst zu erwähnen, dass *Sempervivum calcareum* in der aus reiner Cellulose bestehenden Epidermiszellen-Aussenwand eine Körner-Zone besitzt, welche an Schnitten aus der Blattbasis, aus besonders grossen Körnern bestehend, dicht am Zelllumen liegt, an Schnitten aus der Nähe der Blattspitze mehr und mehr nach der Mitte der Aussenwand rückt und aus winzig kleinen in Reihen geordneten Körnchen zusammengesetzt ist. Die Lage und der ganze Verlauf der Körnerschichten wechselt bei den verschiedenen Arten, eines aber ist allen gemeinschaftlich, dass die Kalkoxalatkörperchen stets rundlich sind und, was sehr merkwürdig ist, im Polarisationsmikroskop bei gekreuzten Nicols nicht aufhellend wirken, nicht einmal bei Einschaltung eines Glimmerplättchens (Roth l. c.) deutlicher hervortreten, was seinen Grund kaum darin haben kann, dass das Oxalat hier dem tetragonalen System angehört, da ja auch dann einzelne aufleuchten müssten, wenn man nicht ohne Weiteres annehmen will, dass alle Körner optisch gleich orientirt seien, für welche Annahme keinerlei Grund vorliegt.

Tritt das Kalkoxalat reichlich auf, so verleiht es der Epidermis vielfach eine matt-weise Färbung, so bei *Sempervivum calcareum*, *Mesembryanthemum lacerum*, *incurvum*, *stramineum*, *Lehmanni vulpinum* etc. oder erzeugt auf den Blättern weisse Flecken wie bei *Mesembryanthemum tigrinum*.

Neuerdings beobachtete *Solereder*[1] kleine Kryställchen eingelagert in den Membranen der dünnwandigen oder mehr collenchymatösen Zellen des Markes und besonders der primären Rinde von *Rochea coccinea (Crassulacee)* und in den Wänden der

[1] *Solereder II* l. c. p. 115.

primären Rindzellen von *Crassula scabra*, *v. Höhnel*[1] an eben diesem Orte bei *Mimosa decurrens*.

Bei mehreren Gattungen der *Nyctagineen (Subtribus Boerhavieae* und *Abronieae* der Tribus *Mirabileae)* hat *A. Heimerl*[2] neuerdings winzig kleine Kryställchen von oxalsaurem Kalk der Membran der Epidermiszellen des Stengels und der Blätter eingelagert gefunden und zwar in so bedeutender Menge, dass die Epidermis davon hart und spröde wird. Sie treten erst relativ spät im äusseren Theil der Epidermiszellen-Aussenwände auf, müssen daher innerhalb der Membran selbst ausgebildet werden.

Wie diese *Nyctagineen* verhält sich nach *J. P. Borodin's*[3] Untersuchungen *Stylosanthes* (Hedysaree) unter den *Leguminosen*.

An den fertilen Stengeln der dem westlichen Theile des Mittelmeerbeckens angehörigen Monocotylen *Aphyllanthes monspeliensis* beobachtete *Klercker*[4] innerhalb der Wandungen derjenigen prosenchymatischen Zellen, welche den mechanisch wirkenden Theil der Epidermis ausmachen, Calciumoxalatkrystalle in grosser Menge eingelagert.

An die in die Zellhaut eingelagerten Kalkoxalatkrystalle schliessen sich die Krystalldrusen und Einzelkrystalle an, welche, im Lumen der Zelle liegend, durch einfache oder verzweigte, mitunter röhrig hohle Zellstofffäden mit der Wandung der Zelle verbunden und von einem Zellstoffhäutchen überzogen sind und endlich die frei schwimmenden aber von einer Cellulosehülle umgebenen Drusen oder Sphärite oder Solitäre, welche Hülle von *Payen*[5] entdeckt und mit dem Namen „tissu spécial" belegt wurde. *Payen* bildete dieselben ab von *Opuntia glaucescens*, *Cereus-Spec.*, von *Aurantiaceen* und *Juglandeen*.

---

[1] *F. R. v. Höhnel.* Anatom. Untersuchungen über einige Secretionsorgane d. Pflanzen. (Sitzber. d. Akad. d. Wiss. Wien. 1. Abth. Bd. 84. p. 565.)

[2] *Heimerl*, *A.* Ueber Einlagerung von Calciumoxalat in die Zellwand bei Nyctagineen. (Sitzber. d. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-naturw. Kl. XCIII. Abth. I. p. 231—246).

[3] *Borodin*, *J. P.* Sur la répartition des cristaux d'oxalate de chaux dans les feuilles des Légumineuses et des Rosacées. (Bull. Congr. intern. de botan. et d'hortic. à St. Pétersbourg, p. 69—77. 1885).

[4] *Klercker*, *J. E. af.* Ueber den anatom. Bau der Vegetationsorgane bei Aphyllanthes monspeliensis. (Bihang till kgl. Svenska Vetensk. Akad. Förhandl. 1883. Bd. VIII. Nr. 6.)

[5] *Payen*, Concrétions et incrustations minérales. (Mém. prés. p. div. sav. Sc. math. et physiques. T. 9. p. 91.)

Die aufgehängten Drusen heissen nach ihrem Entdecker *Rosanoff'sche* Drusen. *Rosanoff*[1] beobachtete sie zuerst im Marke von *Kerria japonica Ricinus communis*, ferner in den die Gefässbündel des Blattstiels von *Aroideen (Anthurium rubricaule, Selloum, Pothos argyrea, Philodendron Sellowianum)* begleitenden Schläuchen und in den Blüthentheilen von *Encephalartos Altensteinii* und *Nelumbium speciosum*. *De la Rue*[2] fand ebenso befestigte Drusen in Mesophyllzellen von *Hoya carnosa* und im Blattstiel von *Pothos crassinervis* sowie im Epidermoidalgewebe des Blattstiels von *Philodendron pertusum*. Was die Entstehung dieser *Rosanoff'schen* Drusen betrifft, so weichen die Ansichten darüber wesentlich von einander ab. Während *de la Rue* dieselben in vorgebildeten in's Zellinnere hineinragenden Cellulosezapfen sich bilden lässt, vertreten *Rosanoff* und *Pfitzer* die Meinung, dass eine nachträgliche Anlehnung fertiger Drusen durch Bildung von Cellulosebrücken an die Zellwand stattfinde. *Müller*[3] ist der merkwürdigen Ansicht, die *Rosanoff'schen* Krystalle würden in der Membran angelegt und dehnten diese bei ihrem weiteren Wachsthum aus.

Ich habe, um mir über diesen Punkt Klarheit zu verschaffen, alle genannten Pflanzen darauf untersucht und kann auf Grund meiner Beobachtungen nur der *Rosanoff-Pfitzer*'schen Angabe beipflichten. Es ist mir nie eine Zapfenbildung zu Gesicht gekommen, die, aus einer Zellhautfalte entstanden, später in ihrem Inneren die Oxalatdruse beherbergen soll, ich habe im Gegentheil in den jüngsten Stadien die Drusen ohne Anheftung mit dünner Cellulosehülle häufig gesehen und die Bildung der Cellulosebalken besonders bei *Philodendron argyraeum*, *pertusum* etc. durch alle Stadien verfolgen können.

In den Figg. 1 a—h u. 5 a—l, Taf. II sind *Rosanoff'sche* Drusen in verschiedenen Entwicklungsstadien dargestellt. 1 a ist eine Zelle aus dem Stengel von *Philodendron argyraeum* etwa 2 mm vom Vegetationspunkt entfernt, der erste Balken c ist eben erst gebildet worden und noch ganz schwach lichtbrechend; 1 b ist eine ältere Zelle mit weiter fortgeschrittener Balkenbildung. Der Zell-

[1] S. *Rosanoff*. (Bot. Ztg. 1865. p. 329.) Ferner: Ueber Krystalldrusen in den Pflanzen (Bot. Ztg. 1867. p. 41).

[2] *De la Rue*. Ueber Krystalldrusen bei einigen Pflanzen. (Bot. Ztg. 1869. p. 537.)

[3] *Müller, Rud.* Die Rinde unserer Laubhölzer. (Breslauer Inaug.-Diss. 1675.)

kern n scheint bei der letzteren betheiligt zu sein. 1 c d e sind Bilder, wie ich sie auf Schnitten von *Philodendron pertusum* und *Anthurium rubricaule* erhielt. 1 f und g stellen die Cellulose-skelette nach Behandlung mit Salzsäure dar und zwar f einer Druse von *Solenostigma bicolor*, g von *Philodendron argyraeum*.

Was die Verbreitung der *Rosanoff*'schen Drusen anlangt, so lehrt schon ein Einblick in die Literatur, dass dieselben ziemlich weite Verbreitung haben. *Penzig*[1] fand *Rosanoff*'sche Drusen bei den *Celastraceen: Evonymus, Celastrus* und *Staphylea* (nicht bei Rhamnaceen und Aquifoliaceen), *Wilhelm*[2] im Phloëm von *Vitis*, *Demeter*[3] bei den *Urticaceen: Debregeasia dichotoma, Boehmeria celebica, biloba, japonica, Leucosyce candidissima, Memorialis hirta* und *Elatostema curhynchum*, *Mentovich*[4] im Marke vieler *Malvaceen (Hibiscus syriacus, H. sinensis* etc.) u. s. f.

Meine eingehenden Untersuchungen über *Rosanoff*'sche Drusen haben mich zu der Ueberzeugung geführt, dass dieselben viel verbreiteter sind, als man bisher angenommen hat, dass man mehr in Cellulose eingekapselte und an den Wänden befestigte Oxalatdrusen findet als freie und dass dieses eingekapselte Kalkoxalat dem Stoffwechsel in höherem Grade oder gänzlich entzogen ist als das frei im Plasma oder Zellsaft befindliche. Vor allem sind die in den Blättern, Blattstielen und Zweigen unserer Laubbäume im Herbst zu voller Grösse entwickelten Drusen, welche, neben Solitären in den die Gefässbündel umgebenden Zellen liegend, die Bündel wie mit einem Kalkoxalat-Panzer umhüllen und tertiäres Oxalat darstellen, wohl grösstentheils *Rosanoff*'sche Drusen. Querschnitte durch Blattstiele von *Tilia-, Populus-, Fagus-, Morus-* etc. Arten weisen unzählige derselben auf. Im Blattstiel von *Morus alba* z. B. konnte ich auf manchen Längsschnitten die verschiedensten Stadien der Entwicklung dieser Drusen nebeneinander erblicken. Fig. 5 a b c Taf. II stellen Zustände verschiedenen Alters dar, die noch leichter sich überblicken lassen, als die bei *Philodendron*.

[1] *Penzig*, *O.*, I crystalli del Rosanoff nelle Celastracee. (Nuovo Giorn. bot. Ital. XII. p. 24.)

[2] *Wilhelm*, *K.*, Beiträge zur Kenntniss des Siebröhrenapparates dikotyler Pflanzen. Leipzig 1880.

[3] *Demeter*, *K.*, Rosanoff'sche Krystalle bei Urticaceen. (Magyar. Növenyt. Lapok V. 1881. p. 32.)

[4] *Mentovich*, *F. v.*, Zur Histologie des pflanzl. Markes etc. (Ungar.) Klausenburg. 1885 u. Das Mark bei einigen kletternden Pflanzen. (Magy. Növényt. Lapok. IX. Jahrg. 1885.)

Zuerst treten frei schwimmende Solitäre oder winzig kleine Drusen auf, später sind dieselben umhäutet und irgendwo der Zellwand genähert. An dem Ort des geringsten Abstandes pflegt die erste Cellulosebrücke producirt zu werden, die entweder für immer die einzige bleibt, oder es werden noch an anderen Seiten neue Cellulosebalken aufgeführt. Der Verlauf des Anheftungsprocesses ist, wie man sieht, hier derselbe wie bei den Solitären von *Salix aurita, Populus italica, Fagus sylvatica* etc., wie ich weiter unten berichten werde.

In einem kurz vor Veröffentlichung dieses Buches erschienenen Aufsatze von *Wakker*[1] über „Inhaltskörper der Pflanzenzelle" wird von diesem Forscher eine neue, ohne Zweifel originelle, aber falsche Erklärung für die Entstehung der *Rosanoff*'schen Drusen zu geben versucht. Verf. äussert sich folgendermaassen:

p. 450. „Schon früher ist bemerkt, dass die Schläuche nur in todten Zellen gefunden sind und ich glaube behaupten zu dürfen, dass sie nichts anderes sind, als eine indirecte Folge des frühzeitigen Todes der betreffenden Zellen. Bei diesem Absterben jedoch werden die Wände der umgebenden noch turgescenten Zellen in das Lumen der todten vorgewölbt, ebenso wie zum Beispiel die letzte Querwand eines *Spirogyra*-Fadens immer vorgewölbt erscheint, und kommt somit in unsanfte Berührung mit den scharfen Spitzen der Drusen, welche sich dabei ohne Zweifel in die noch weiche Wand einbohren und so eine Verbindung darstellen, welche durch den Wasserverlust der Zellwand immer inniger wird. Alles dies findet statt, während das Längenwachsthum des betreffenden Organs noch nicht beendigt ist: eine Thatsache, welche schon dadurch angezeigt wird, dass die Drusenzellen der betreffenden Pflanzentheile immer viel kleiner sind als die übrigen Parenchymzellen. Es fragt sich jetzt, welche Veränderungen durch das fortgesetzte Längenwachsthum eintreten werden. Eine nothwendige Folge hiervon ist eine passive Dehnung der todten Zellen durch die umgebenden, eine Art Gewebespannung, wie wir sie alle kennen zwischen Epidermis und Parenchym wachsender Organe, aber im verstärkten Grade, weil hier nicht schwächerer und stärkerer Turgor einander gegenüberstehen, sondern kräftiger Turgor und gänzliche Abwesenheit eines solchen die Spannung ver-

[1] *Wakker, J. H.*, Studien über die Inhaltskörper der Pflanzenzelle. (Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XIX. 1888. 4. H. p. 423 ff.)

ursachen. Einer Ausdehnung der Wände der todten Zellen wird durch ihre Verbindung unter einander mittelst der Krystalldrusc kräftig entgegengearbeitet und ist nur möglich entweder wenn diese Verbindung zerrissen wird, oder wenn die Wände an den Verbindungsstellen sich ausdehnen: letzteres führt zu einer Bildung ungleich langer Celluloseschläuche, welche die Drusen mit der Zellwand verbinden und nichts anderes sind, als die von *Rosanoff* entdeckten Gebilde von *Kerria* und *Ricinus*."

So weit *Wakker*. Ich würde diese lange wörtliche Wiedergabe seiner Auslassung vermieden haben, müsste ich nicht jeden seiner ausgesprochenen Sätze widerlegen und seine ganze Anschauung als vollkommen verfehlt und unrichtig bezeichnen. Ich bin fast versucht, die Behauptung *Wakker's*, die Häute und Balken fänden sich nur in todten Zellen, nicht für Ernst zu nehmen. Soll sie dies sein, so beweist es nur, wie wenig sorgfältig dieser Autor bei der Untersuchung der Frage zu Werk gegangen ist und wie leicht er sich die Begründung seiner Behauptungen gemacht hat.

Hätte *Wakker* sich etwas gründlicher nach den ersten Anlagen *Rosanoff*'scher Drusen umgesehen, so würde er gefunden haben, wie ich bereits oben mitgetheilt habe, dass bei vielen Pflanzen bereits wenige Millimeter vom Vegetationspunkt entfernt an Zellstoffbalken aufgehängte Drusen sich präsentiren, so z. B. bei vielen *Aroideen* (siehe Fig. 1 a—c), dass in jugendlichen Blattstielen sehr vieler Pflanzen z. B. *Morus alba* (siehe Fig. 5 a—c) dieselben Gebilde in allen Entwicklungsstadien auf einem Schnitt oft mit wenig Mühe zu finden sind in Zellen, an deren Lebensthätigkeit wohl Niemand im Ernst zweifeln dürfte.

Ich empfehle zum Studium der *Rosanoff*'schen Drusen neben den *Aroideen* besonders noch die Blätter von *Ficus elastica*. In diesen sieht man auf Querschnitten innerhalb der Zellen des als Wassergewebe fungirenden Hypoderms nicht gerade zahlreiche, aber wegen des fast farblosen Inhalts der Zellen ausserordentlich deutlich zu überblickende Drusen, welche an 2—4 Cellulosearmen aufgehängt sind. Es wird mir auch hier Niemand zumuthen, den Beweis für die Lebensfähigkeit dieser Hypodermzellen zu erbringen, besonders wenn man, wie ich es häufig gethan habe, Blätter, die eben erst der schützenden Scheide entschlüpft sind, der Beobachtung unterwirft.

In den Zellen des Endosperms und des Embryo von *Manihot Glaziovii* sah *Moore*[1] von Cellulosehüllen umgebene, der Zellmembran entweder direkt anliegende oder mit ihr durch dünne Cellulosebalken in Verbindung stehende Einzelkrystalle und Drusen von oxalsaurem Kalk. Im Embryo kann man nach unseren Erfahrungen doch wohl kaum die Trägerinnen dieser Bildungen als abgestorbene Zellen betrachten?

Zur vollständigen Beruhigung sei noch erwähnt, dass ich gar nicht selten Zellkern und Plasma in den die Druse führenden Zellen deutlich neben den Balken sehen konnte, wie ich in den Fig. 1 a und b illustirt habe. Um mich davon zu vergewissern, dass in den eben citirten Fig. 1 a und b, welche nach Präparaten von *Philodendron argyraeum* gezeichnet wurden, nicht etwa irgend welche Täuschung untergelaufen sei, habe ich die Frage nach dem Plasmagehalt solcher Drusenzellen, deren Cellulosearme bereits gebildet sind, die nach *Wakker* also todt sein müssten, durch genaue, nur auf diesen Punkt gerichtete Untersuchung der Stiele junger Blätter von *Anthurium Scherzerianum* zu beantworten gesucht. Bilder wie die in Fig. 5 i k und l genau nach dem mikroskopischen Bild entworfenen boten sich gar nicht selten dar; 5 i stellt eine relativ jugendliche Zelle dar, deren Druse d noch klein aber bereits durch die deutlich erkennbaren Arme b, b an der Zellwand befestigt sind, deren Plasma p und Zellkern n aber noch ein in jeder Hinsicht normales Aussehen haben, dass man beide nicht für todt und abgestorben betrachten darf. In mehreren anderen, etwas älteren Zellen des Grundgewebes fand ich an Balken befestigte Drusen, denen der Zellkern n (Fig. 5 k und i) direkt anlag; dies beweist nicht nur auf's Schlagendste, dass die betreffende Zelle noch völlig lebensfähig ist, sondern auch, dass jede Druse von einer Plasmahülle umgeben ist, welche nicht selten sogar den Zellkern eingebettet enthält. Zwingen mich diese meine Befunde, schon in dem ersten Punkt von der *Wakker*'schen Anschauung abzuweichen, so bin ich dazu noch mehr genöthigt durch eine Anzahl Erscheinungen, die ich in Folgendem kurz discutiren werde.

Wo soll denn, frage ich Herrn *Wakker*, die Membran

[1] *Moore, S. M.* Studies in vegetable biology. II. On Rosanow's crystals in the endosperm cells of Manihot Glaz. etc. (Journ. Lin. Sc. London XXI. p. 621—24.)

herkommen, wenn wie Fig. 5 a *(Morus alba)* zwei Cellulosebalken zz an einander berührenden Zellwänden gleichartiger lebender Zellen von einem Punkte ausgehen, solche und ähnliche Probleme dürften bedenkliche Schwierigkeiten der Lösung im *Wakker*'schen Sinne bereiten. Nach *Wakker's* Anschauung müsste jeder Cellulosebalken aus doppelter Membran bestehen, was nicht der Fall ist; wie kommt es überhaupt, dass eine eng begrenzte Partie der Zellwand der todten Zelle dem Druck der angrenzenden turgescenten nachgiebt, eine dicht daneben liegende Partie nicht? Bei vielen Pflanzen sind die Balken von Jugend auf massiv und bleiben es, mehr und mehr in die Dicke wachsend, so dass man sie schliesslich erblickt, wie in Fig. 1 h im Fruchtfleisch der Rose, da ist eine Entstehung der Balken durch eine in jeder Beziehung räthselhafte Einstülpung, wie wir sie bei den Thyllen kennen, ausgeschlossen. Auch mechanisch ist die von *Wakker* postulirte Genesis der *Rosanoff*'schen Drusen unmöglich. Eine einseitige Einstülpung würde doch die Druse im Innern der sogenannten todten Zelle nur vor sich herschieben können; zu einem Einbohren der Drusenspitzen in die weiche Wand würde es doch nur dann kommen können, wenn von der anderen Seite her sozusagen ein Widerlager geschaffen wäre, und als solches könnte die der eingestülpten Wand gegenüberliegende Zellwand oder eine gegenüberstehende zweite Zellhauteinstülpung functioniren. Im ersten Falle würde die Druse an die Membran der Tragzelle gedrückt, was ich nie beobachtet habe, im zweiten wäre die Druse zwischen zwei auf einander zu sich bewegende thyllenartige Blasen eingeklemmt und würde in dieser annähernd centralen Lage aber nur dann verharren können, wenn beide Ausstülpungen gleichzeitig sich zu vergrössern aufhörten, was wieder einer neuen und gewiss nicht leichten Erklärung bedürfte. Führe eine der straffen (!) Blasen fort sich zu vergrössern, während die andere bei ihrem Volumen beharrt, so müsste letztere zusammengedrückt, breitgequetscht werden, jedenfalls zurückweichen etc. Findet man von alle dem etwas in der Pflanze? Niemals. Bestünde in der That die Einstülpung der Celluloseträger zu Recht, so müsste es gelingen, von aussen die Röhren oder Blasen, die sie doch darstellen und die der *Wakker*'schen Entstehung zu Folge nach aussen geöffnet sein müssen, mit Farbstofflösungen zu füllen, was mir nicht gelungen ist. Um die Richtigkeit seines Erklärungsversuches hervortreten zu lassen, macht *Wakker*

darauf aufmerksam, dass schon *Rosanoff* bemerkt habe, wie die Cellulosebalken hauptsächlich in der Wachsthumsrichtung verliefen. Mir sind ebenso zahlreiche Beispiele dafür vor Augen gekommen, dass die Balken recht- oder schiefwinklig zur Wachsthumsrichtung orientiert sind (man vergleiche die Fig. 16, 5 a b c) und ein einziges solches Beispiel genügt, um den Werth der *Wakker*'schen Erklärung zu beurtheilen. Doch ich werde noch einige Beobachtungen mittheilen, die im Stande sind, die *Wakker*'sche Annahme haltlos zu machen. Im Blattstielgewebe von *Morus alba* sah ich häufig Balken an Membranstellen entspringen, welche an Intercellularräume grenzen; da fehlte also die Nachbarzelle, durch deren starken Turgor der Balken in die Drusenzelle eingestülpt werden sollte, ganz und dessenungeachtet ist der Tragbalken ausgebildet (siehe Fig. 5 h), eine Mitwirkung der die Tragzelle umgebenden Zellen halte ich deshalb für ausgeschlossen. Nun könnte man sich vorstellen, dass die Membran der lebenden Drusenzelle sich allein an mehreren Stellen ohne Beihülfe irgend welcher anderen Zelle einstülpe. Abgesehen davon, dass dann für die Drusenzelle erst recht die von *Wakker* geläugnete Lebensfähigkeit beansprucht werden müsste, denn wie sollte sonst die Membraneinstülpung wachsen, scheinen mir auch gegen diese Annahme mancherlei thatsächliche Vorkommnisse zu sprechen.

So wäre bei dem massenhaften Auftreten *Rosanoff*'scher Drusen in allen Stadien der Entwicklung innerhalb vieler Pflanzentheile doch zu erwarten, dass man auch Einstülpungen auffände, die die Druse noch nicht erreicht haben, solche die sie erreicht, aber noch nicht mit ihnen verwachsen sind; davon habe ich trotz sorgfältigen Suchens Nichts finden können. Ferner sind Formen, wie die in Fig. 5 d g dargestellten, häufig, bei welchen doch eine Abgrenzung zwischen beiden Balken irgendwo müsste wahrgenommen werden können. Allein diese Grenze fehlt, statt dessen habe ich mit den stärksten Vergrösserungen die Continuität der Cellulose beider Balken zu constatiren vermocht. Vom Balken a Fig. 5 g greift der innere Theil um die Oxalatdruse herum und seine Substanz setzt sich direkt in dem gegenüberliegenden Balken b fort. Endlich liegt in der Existenz massiver Balken, deren ich mit Sicherheit viele gesehen habe, ein Argument gegen die *Wakker*'sche Anschauung. Wenn dieser Autor meint, die Drusenzellen wären deshalb viel kleiner als die übrigen Parenchymzellen, weil sie infolge zeitigen Absterbens ihr Längenwachs-

thum früher abschliessen, als die umgebenden Parenchymzellen, so, glaube ich, ist dies ebenfalls ein Irrthum, denn gewöhnlich sind die Drusenzellen relativ spät entstandene Theile einer normalen Parenchymzelle, denn man kann sehr oft aus mehreren hinter einander liegenden Drusenzellen die ursprüngliche Parenchym-Mutterzelle reconstruiren, eine Erscheinung die bei Krystallzellen durchaus nichts Neues ist.

So lehren entwicklungsgeschichtliche Beobachtungen, dass die Drusenzellen der Oberhaut der *Aroideen* entstehen dadurch, dass in der Ecke einer meist in der Nähe einer in der Anlage begriffenen Spaltöffnung gelegenen Zelle des dermatogenen Meristems eine zur Aussenfläche der Epidermis senkrechte Wand auftritt, die die Zelle in zwei ungleiche Theilzellen zerlegt, von welchen die grössere zu einer normalen Epidermiszelle wird, während in der kleineren die Druse zur Ausscheidung gelangt.[1]

Nach dem Gesagten stelle ich auf Grund meiner Beobachtungen den *Wakker*'schen Behauptungen folgende gegenüber:

1. Die Zellstoffbalken oder *Rosanoff*'schen Drusen, welche hohl oder massiv sind, kommen zur Ausbildung in einer Zeit, in welcher die Drusenzelle noch vollkommen lebensfähig ist.

2. Sie werden ohne Mitwirkung der die Drusenzelle umgebenden Zellen producirt.

3. Die Celluloseträger für Einstülpungen der Drusenzellenmembran zu halten, dagegen spricht die Thatsache, dass die Substanz der Träger sich continuirlich in die der Membran, welche die Druse umhüllt, und in die der übrigen Träger fortsetzt; ferner der Mangel an Balken, welche die Druse noch nicht erreicht haben, und endlich sind mechanische Gründe vorhanden, die mir eine andere Entstehungsweise der Träger wahrscheinlich machen.

Da die Oxalat-Drusen immer vorhanden sind, ehe die Zellstoffträger sichtbar werden, ist die *de la Rue*'sche Annahme unhaltbar; da ferner niemals Balken gesehen wurden, welche sich etwa der Druse von der Membran aus nähern, ohne sie erreicht zu haben, so muss eine Bildung jedes Balkens gleichzeitig, simultan, durch seine ganze Ausdehnung angenommen werden, also eine Art Erstarrung einer Plasmabrücke zu einem Celluloserohr oder Cylinder oder eine allmälige Zellhautproduktion an der Grenze zwischen Plasmastrang und Vacuole.

[1] *Dalitzsch, M.* Beiträge zur Kenntniss der Blattanatomie der Aroideen. (Bot. Centralbl. Bd. XXV. 1886. p. 154.)

Anknüpfend an die Beobachtungen *Payen's*[1] des Entdeckers der Krystallhüllen, des „tissu spécial", und an solche *Schacht's*[2] wies später *Pfitzer*[3] nach, dass auch die grossen monoclinen Einzelkrystalle in den Blättern von *Citrus vulgaris*, in der Rinde von *Salix aurita, Populus italica, Celtis australis, Fagus sylvatica, Rhamnus Frangula, Acer opulifolium, Platanus orientalis* von einer Zellulosehaut umschlossen sind, welche der Membran der einschliessenden Zelle meist mit breiter Fläche angewachsen ist. Die Cellulosehülle entsteht auch hier um den ursprünglich freiliegenden Krystall aus dem Protoplasma, um später mit der Zellwand theilweise zu verwachsen. Fig. 7 Taf. II ist ein mit breiter Fläche angewachsener Krystall von *Citrus sinensis*, Fig. 6 ein zunächst mit seinem unteren Theil verwachsener Krystall aus dem Blatt von *Citrus decumana*, an dessen oberem Theile die etwas gefaltete Cellulosehülle noch frei in's Zelllumen ragt, um sich später an die obere Partie der Zellwand anzulegen. In Fig. 9 ist auch die Verschmelzung der Cellulosehülle nach unten noch unvollständig; hier kann man die Contour der Hülle rundum noch deutlich verfolgen (aus dem Blatt derselben Pflanze). Fig. 10 endlich repräsentirt ein noch jüngeres Stadium, und die Figg. 8 und 9 a—f verschiedene Stadien der Verwachsung von Oxalatkrystallen mit der Wand in Grundgewebszellen des Blattstiels von *Citrus decumana*.

Die in Cellulosebalken aufgehängten Kalkoxalat-Krystalle mehrerer *Erythrina*-Arten (*E. mitraefolia, Crista-galli, insignis, corallodendron*, *Hendersoni* etc.) sind entwicklungsgeschichtlich untersucht worden von *Calabrò*[4]. Nach ihm liegen die Krystalle bei ihrem Entstehen im Zellplasma; sie sind zu dieser Zeit vollkommen frei und ohne Verbindung mit der Zellwand. Später scheidet der umgebende Plasmastrang eine Cellulosemasse aus, in welcher der Krystall eingehüllt bleibt. Ist der Krystall nun klein, so kann es vorkommen, wenn dieser Fall auch seltener ist, dass er von Cellulose umgeben frei im Zellinhalt schwimmt. Ist der Krystall aber grösser, so berührt seine Cellulosehülle an den beiden

---

[1] *Payen*. l. c. T. 9. p. 91.

[2] *Schacht*. Abhandl. d. Senckenberg. Ges. zu Frankfurt a. M. I. p. 150. Taf. VII. Fig. 21.

[3] *Pfitzer*. Flora 1872. p. 95.

[4] *Calabrò, P.* I crystalli del Poulsen nelle specie di Erythrina. (Malpighia, anno I., facs. III.) 1886.

Enden des Krystalls die Zellwand und verwächst mit der letzteren (Fig. 9g Taf. II). Wir haben also eine Bestätigung der Beobachtungen von *Poulsen*[1], *Poli*[2] und *Penzig*[3] bezüglich der *Rosanoff*'schen Krystalldrusen.

Aus den mikrochemischen Reactionen ergab sich, dass der grösste Theil der Cellulosehülle reine Cellulose ist, nur in der Nähe der Anheftungspunkte ist Verholzung eingetreten.

Ganz ähnliche in Cellulosescheiden befindliche Kalkoxalatkrystalle sind ein steter Bestandtheil der Rinde in den Wurzelknöllchen von *Robinia Pseudacacia*, *Phaseolus multiflorus* etc. Bei *Robinia* oftmals gekniekt, sind sie stets von einer Cellulosemembran eingehüllt, die in der Regel beiderseits sich an die Zellmembran ansetzt.[4]

Sieht man sich nun weiter nach mit Cellulose umscheideten Solitären um, so findet man, dass ihre Zahl mit der Ausdauer des Beobachters fortwährend wächst, so dass die Frage nahe liegt, ob es überhaupt Oxalatkrystalle ohne Membran giebt? Darauf lässt sich bejahend antworten, denn alle jugendlichen Krystalle sind ohne Membran und viele Krystalle bleiben nach meinen Erfahrungen zeitlebens ohne eine solche, wenn auch die Zahl der umhüllten Krystalle sicher viel grösser ist. Selbst in Krystallschläuchen der Stengel und Blätter vieler Pflanzen fand ich die Oxalatsolitäre mit oft ziemlich dicken Cellulosemembranen umhüllt, weshalb die Auflösung dieser Krystalle in Salzsäure so auffallend langsam vor sich geht. So stellt die Fig. 3 Krystallschläuche aus einem älteren Blatt von *Soja hispida*, Fig. 2 solche aus dem von *Robinia hispida* nach der Behandlung mit Salzsäure dar. In jüngeren Blättern konnte ich Cellulosehüllen niemals finden. c c sind die nach Einwirkung der Säure zurückbleibenden Cellulosehüllen, welche mitunter, so bei x x mit der Zellwand verwachsen sind. Die in Fig. 4 dargestellten jugendlichen Oxalatkrystalle des Blattes von *Soja hispida* hinterliessen nach Säurebehandlung keine Spur von Cellulosehüllen. Die Figuren 11 a, b, c sind drei Stadien der Entwicklung der an den Bastfasern massenhaft zur Ausbildung gelangenden Solitäre bei *Salix fragilis*. a ist eine Reihe von Krystallzellen,

[1] *Poulsen*. (Flora 1877.)

[2] *Poli*, *V. A.* I cryst. d'ossal. calc. nelle piante, p. 30.

[3] *Penzig*, *O.* I cristalli del Rosanoff nelle Celastracee. (Nuov. Giorn. bot. Ital. XII. p. 24.)

[4] *Tschirch*, *A.* Ber. d. D. Bot. Ges. 1887. H. 2. p. 65.

deren Krystalle noch sehr klein sind, in b sind diese schon zu beträchtlicher Grösse herangewachsen, ohne dass die umhüllende Membran ohne Anwendung von Reagentien schon deutlich sichtbar wäre, in c endlich, dem ältesten Stadium, sieht man die Krystalle mit einer dicken Cellulosemembran umgeben, die stellenweise mit der Zellwand verwachsen ist, so dass die Krystalle wie *Rosanoff*'sche Drusen fest angehängt sind und ein principieller Unterschied zwischen Beiden nicht gemacht werden kann.

Auch über diese Krystallhüllen äussert sich *Wakker* in seiner neusten Publikation, indem er auf die Schwierigkeit aufmerksam macht, welche die Erklärung dieser Hüllen deshalb bereitet, weil die Cellulosebildung eine Funktion der Hautschicht des Plasmas, die Krystallbildung eine Funktion der Vacuole ist. Wie hilft sich nun *Wakker*? Er berichtet, „eine sehr wichtige Thatsache scheint es mir, dass Häutchen (und Balken) ausschliesslich in todten Zellen gefunden sind! Also auch diese Zellen sind todt! Es ist ein ausserordentlich viel leichteres Verfahren, jede Zelle, deren innere Vorgänge in ihren Resultaten dunkel sind, einfach für todt zu erklären und sich dann Processe heraus zu construiren, an die kein Fachmann glauben kann, als die exacten Arbeiten Anderer in gebührender Weise zu Rathe zu ziehen und selbst gründliche, langwierige Beobachtungen anzustellen. Hätte *Wakker* die Arbeiten *Pfitzer's* einem eingehenden Studium unterzogen, hätte er die Mühe nicht gescheut, auch nur einmal eine Schnittserie durch das *Citrus*-Blatt anzufertigen, so würde er eine so vage Behauptung, wie die oben reproducirte, nicht niedergeschrieben haben. „Eine zweite wichtige Thatsache scheint es mir zu sein," sagt *Wakker* weiter (p. 449), „dass die Farbe, welche das Häutchen mit Chlorzinkjod annimmt, nicht immer bei einer Pflanze dieselbe ist und dass die Cellulosebalken nicht regelmässig vorkommen." Also weil das Häutchen nicht immer scharfe Cellulosereaction mit Chlorzindjod gegeben hat, fühlt sich *Wakker* veranlasst, eine neue Erklärung zu ersinnen, die an Unwahrscheinlichkeit Nichts zu wünschen übrig lässt. Mitunter war es doch Cellulose, und die soll sich dann aus dem Plasmarest der absterbenden Zelle bilden? Hält denn *Wakker* die Epidermiszellen von *Citrus*-Arten, die Krystallschläuche von *Salix, Robinia, Soja* etc. etc. wirklich für todt zu der Zeit, in welcher sie erfahrungsgemäss die Cellulosehüllen produciren. Wie stellt sich *Wakker* dann das nachträgliche Verwachsen der umhüllten Krystalle mit der Membran

der Tragzelle vor, was so intensiv ist, dass man oft kaum im Stande ist, das Häutchen von der Membran der Tragzelle abzugrenzen? „Es ist eine anerkannte Thatsache, dass die Cellulosebildung eine Funktion der Hautschicht der Plasma's bildet", mit anderen Worten: ohne Plasma (d. h. doch wohl lebendes) keine Cellulosebildung, also wo Cellulosebildung nachzuweisen (wie in der Epidermis von Citrus etc.), da lebendes Plasma! — das ist meine Logik. Und dass *Wakker* Cellulosehäutchen vor sich gehabt hat, theilt er selbst mit (p. 450): „ein Längsschnitt aus dem Marke von *Hibiscus Rosa sinensis* enthielt zahllose Drusen; sie hinterliessen schöne Häutchen, welche fast alle sehr schön sich bläuten!" Ganz dieselbe deutliche Cellulose-Reaktion ist in der Mehrzahl der übrigen Fälle zu erhalten, nur mitunter ist eben die Cellulose verholzt oder verkieselt, und dadurch eine Gelbfärbung mit Chlorzinkjod oder ein Ausbleiben einer prägnanten Färbung verursacht.

RHAPHIDEN.

Eine sehr charakteristische Form besitzen die von *De Candolle*[1] nach ῥαφίς Nadel benannten Rhaphiden des oxalsauren Kalkes, die als lange, dünne Nadeln einzeln oder öfter zu Bündeln vereinigt in vielen Pflanzen zu finden sind, eine Gestalt, so eigenthümlich, dass man oft zweifelhaft geworden ist, ob man es in den Rhaphiden wirklich mit Kalkoxalat zu thun habe. Daher die in der Literatur verstreuten Behauptungen über die Abwesenheit des oxalsauren Kalkes in diesen Krystallen. So behauptet z. B. *Higley*[2] noch im Jahre 1880 alles Ernstes, die Rhaphiden vieler *Aroideen*, *Ampelideen*, die von *Cirsium arvense, lanceolatum muticum, Cynthia virginica* etc. bestehen aus phosphorsaurem Kalk. Ich habe mich jedoch von Neuem überzeugen können, dass wir in den Rhaphiden wohl ausnahmslos oxalsauren Kalk vor uns haben und es ist mir unverständlich, wie *Higley* mit molybdänsaurem Ammoniak die für Phosphorsäure charakteristischen Dodekaëder von phosphormolybdänsaurem Ammoniak erhalten konnte. Schon die Unlöslichkeit der Rhaphiden in Essigsäure schliesst aus, dass sie Cal-

[1] *De Candolle*, Organographie végétale. I. p. 126.

[2] *Higley*, *W. K.* The mikroskopic krystals contained in plants. (Amer. Naturalist. 1880. Nov. u. Pharmac. Journal and Transact. 1881. Jan.

ciumphosphat sind. — Die Rhaphiden sind entweder beiderseits fein zugespitzt, oder nur auf der einen Seite, während dann das zweite Ende durch den einspringenden Winkel die Zwillingsnatur des Krystalls verräth. Sie gehören dem monoclinen System an und sind meist lang ausgebildete Formen der Combinationen 14, 15 und 16 der Taf. I. Bei vielen Rhaphiden ist es überhaupt unmöglich, die Gestalt krystallographisch zu definiren wegen der Kleinheit der Nadeln, der ausserordentlichen grossen Kantenwinkel und der Wölbung der Krystallflächen.

Die Rhaphiden treten in allen Theilen des Grundgewebes, im Mark, der primären Rinde von Stengelorganen, im Mesophyll der Blätter und dem Rindenparenchym der Blattstiele auf, ferner dem Stranggewebe angehörig in der sekundären Rinde, selten im Holze; als einziges Beispiel für im Xylem liegende Rhaphiden ist mir *Galipea simplicifolia Mart.* bekannt, bei der sie in sehr dünnwandigen Zellen zur Abscheidung gelangen, so dass es den Eindruck macht, als lägen sie im Intercellularraum. Sie beschränken sich dabei mitunter auf ein bestimmtes Gewebe, mitunter aber kommen sie gleichzeitig in mehreren vor. In der Epidermis sind sie noch nicht beobachtet worden. Sie erscheinen sehr frühzeitig, so dass man sie in der Mehrzahl der Fälle als primäres Kalkoxalat (siehe unten) ansprechen darf, in eigenthümlichen Zellen des Vegetationskegels und der Spross- und Blattanlagen. Mit der Entfaltung des sie enthaltenden Organs pflegt die Anzahl der Rhaphidenzellen zuzunehmen, sobald aber jenes seine typische Form erreicht hat, tritt ein Stillstand ein; weder die Rhaphidenzellen noch die in ihnen eingeschlossenen Rhaphiden nehmen weiter an Grösse zu, wenn die Ausbildung des sie bergenden Organs beendet ist. Soweit meine Beobachtungen reichen, bleiben die Rhaphiden unverändert bis zum Untergange der betreffenden Pflanzentheile liegen. Auch für die *Ampelideen* kann ich die Behauptung *d'Arbaumont's*[1], dass deren Rhaphiden am Ende der ersten Vegetationsperiode aus dem Mark der Zweige verschwinden, nicht bestätigen. Die Rhaphidenzellen haben in der Regel längliche Form, dünne Wände und enthalten früher oder später einen homogenen, glashellen, in Wasser quellbaren resp. löslichen Schleim, der durch Wasseraufnahme sein Volumen oft so vergrössert, dass er

[1] *d'Arbaumont, M.* La tige des Ampélidées. (Annales d. scienc. nat. Botanique. 6 sér. Vol. XI. p. 186.)

die Wände der Rhaphiden-Zellen sprengt und mit den Rhaphiden austritt.[1] Dieser Schleim ist es jedenfalls, welcher die den Rhaphiden eigenthümliche Zusammenlagerung veranlasst. Er verhält sich dem Wasser gegenüber dem arabischen Gummi ähnlich, hat aber sonst Nichts mit ihm gemein und entstammt dem Zellinhalt und nicht wie der Gummi der Membran. In Alkohol schrumpft er ohne Trübung, in Kalilauge ist er unlöslich (wie das Wundgummi der Kirsche). In Chlorzinkjod färbt er sich gelb, was der Schleim der Drüsenzotten von *Rumex, Viola* etc. nicht thut, mit welchem der Rhaphidenschleim in mancher Hinsicht verwandt zu sein scheint. Corallin[2], welches Gummi nicht tingirt, wird von Rhaphidenschleim gespeichert, Rosanilinviolet[2] dagegen, welches den *Rumex*-Schleim intensiv violett, den der Drüsenzotten von *Viola tricolor* röthlich färbt, lässt den der Rhaphidenzellen vieler von mir untersuchter Monocotylen unverändert. Farblos bleibt der Schleim der Rhaphiden von *Hyacinthus, Aroideen, Pontederia* etc. nach Behandlung ferner mit Methylgrünessigsäure, Gentianaviolett, Eosin. Aus allem Gesagten geht hervor, dass wir es im Rhaphidenschleim weder mit Gummi noch Wundgummi, noch mit einem Analogon des Drüsenzottenschleims zu thun haben.

Die Rhaphidenzellen liegen entweder vereinzelt oder zu vielen übereinander (Stengel und Blätter der *Commelyneen, Palmen,* in allen Theilen der *Amaryllideen: Amaryllis, Sprekelia, Crinum, Pancratium, Eucharis, Alstroemeria, Narcissus, Leucojum, Galanthus;* ferner bei *Hyacinthus, Agapanthus. Scilla, Ornithogalum* und *Muscari* führen Reihen nur in den oberirdischen Organen, in den unterirdischen vereinzelte Rhaphiden-Zellen), lange Reihen bildend. (*Hanstein's*[3] rhaphidenführende Schlauchgefässe.) In solchen Reihen kann es vorkommen, dass durch starkes Längenwachsthum der Rhaphidenbündel die Querwände der übereinander liegenden Zellen durchlöchert, ja zum völligen Schwinden gebracht werden, wie man es an der Frucht von *Vanilla aromatica*, am *Commelyneen*-stengel etc. beobachten kann[4].

---

[1] *Turpin.* Sur les biforines. (Ann. d. Sc. nat. 2e Sér. T. VI. p. 5.) — *Hilgers, G.*, Pringsheims Jahrbücher f. wiss. Bot. VI. p. 286.

[2] *Strasburger, E.* Das botanische Practicum. p. 108. 126.

[3] *Hanstein*, Ueber ein System schlauchartiger Gefässe etc. (Monatsbericht d. Berliner Akad. 1859. p. 705.) Die Milchgefässe p. 33.

[4] *Guignard, L.* Perforation der Membran von Rhaphidenzellen. Note sur une modification du tissu sécréteur du fruit de Vanille. (Bull. Soc. Bot. de France. ser. II. T. VIII. p. 348—50) und *Hanstein*, siehe oben.

Während der Streckung des betreffenden Organs verlängern sich auch die Rhaphidenzellen beträchtlich, so dass sie oft am Ende 20mal länger als breit sind; doch können in dieser Beziehung alle möglichen Variationen obwalten. Die Rhaphiden selbst nehmen bei der Streckung der Zellen, wie *de Bary*[1] für die *Commelyneen* angiebt, an Zahl und Grösse nicht merklich zu; abweichend davon habe ich an einer grossen Anzahl von Rhaphidenpflanzen eine Grössenzunahme, die gar nicht unbeträchtlich ist, deutlich nachweisen können. Die Messungen werden dadurch erschwert, dass die Rhaphiden unter einander in der Grösse abweichen, doch lässt sich diese individuelle Variation durch Steigerung in der Zahl der Messungen hinreichend eliminiren. Ich befinde mich also bezüglich dieser Erscheinung in Uebereinstimmung mit *Hilgers*[2], der im Stengel von *Polygonum stellatum* eine deutliche Verlängerung der Rhaphidenbündel constatiren konnte. Ebenso vergrössern sich die Krystalle in den Wurzeln noch bedeutend, wenn man sich mehrere Millimeter von der äussersten Wurzelspitze entfernt, erreichen aber in einer Entfernung von kaum $^1/_2$ Centim. von letzterer ihre definitive Grösse. Die Rhaphiden z. B. in Blatt und Stengel von *Testudinaria elephantipes* verlängern sich von Beginn ihres Auftretens an bis zur endgültigen Grösse um das dreifache; letztere wird erreicht, wenn das die Rhaphiden bergende Organ sein Wachsthum und die Ausformung seiner Zellelemente beendet hat. Dabei ist, wie man ohne Schwierigkeit ermitteln kann, das Licht ohne direkten Einfluss, denn es kommen die Rhaphiden in gleicher Weise hinter farbigen Schirmen, ja selbst im Dunkeln zur Ausbildung, weshalb sie auch in tiefgelegenen, dem Licht nicht zugängigen Geweben beim ersten Aufbau des Zellgerüstes häufig erscheinen. In jugendlichen *Orchideen*-Luftwurzeln erblickt man schon 1 mm hinter dem Vegetationspunkt stattliche Rhaphidenbündel, und das, noch ehe diese Organe das sie deckende Gewebe durchbrochen haben; ebenso im noch vollständig in der Knospe eingeschlossenen Vegetationskegel vieler Pflanzen.

Eine Gesetzmässigkeit bezüglich der Vertheilung und Orien-

[1] *de Bary*, l. c. p. 146.

[2] *Hilgers*, *G.*, Ueber das Auftreten der Krystalle etc. (Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. VI. p. 294 ff.)

tirung der Rhaphidenzellen, wie sie nach *Cuboni*[1], *Wiesner*[2] und Anderen herrschen soll, habe ich nur bei einzelnen Pflanzen, nicht aber im Allgemeinen, entdecken können. Denn auch in Gewächsen, in denen eine solche auf den ersten Blick zu herrschen scheint, wie z. B. bei *Pontederia crassipes* etc., ist sie bei genauer Prüfung nicht durchgreifend; denn wenn auch die Krystalle (Solitäre und Rhaphiden) der parallel der Oberfläche verlaufenden Zellschichten senkrecht auf der Grenzfläche der Intercellularräume stehen, so sind die Rhaphidenbündel der horizontalen Zellenschichten gerade parallel zur Grenzfläche orientirt und ähnlich ist es bei vielen anderen von mir darauf geprüften Pflanzen, wenn auch nicht geläugnet werden kann, dass oftmals die Rhaphidenzellen eine, ich möchte sagen, geometrisch genaue Anordnung und Vertheilung darbieten. So sind bei vielen parallelnervigen Monocotyledonen-Blättern alle Rhaphidenzellen parallel den Nerven orientirt und in Reihen geordnet, bei anderen jedoch wieder ist eine vollkommene Regellosigkeit in jeder Beziehung zu bemerken. Für jede Art oder Gattung, ja sogar Familie lässt sich in den weitaus meisten Fällen ein Typus der Placirung und Orientirung jener Zellen erkennen, aber niemals wird ein allgemein geltendes Schema oder eine bestimmte unabänderliche Beziehung etwa zum Intercellularsystem etc. aufgestellt resp. entdeckt werden können.

Dass die säulenförmigen Krystalle die Rhaphiden oft ersetzen, geht aus oft beobachteten Uebergangsformen hervor; so beobachtete *Solereder* bei *Pisonia laxiflora Chois.* zahlreiche schmale nadelartige Prismen in einer Zelle, während dieselben Prismen sonst einzeln in den Schläuchen aufzutreten pflegen; ebenso ist es bei anderen *Pisonia*-Arten, bei *Leucaster.* Unter den *Saxifragaceen* sind es die *Escallonia*-Arten, unter den *Ficoideen Aizoon propinquum* und *Tetragonia spicata,* unter den *Phytolaccaceen* die Arten der Gattungen *Rivina* und *Seguieria,* unter den *Nyctagineen Neea* und *Pisonia* etc., bei denen eine theilweise Vertretung der Rhaphiden durch monocline Prismen häufig ist. Die nahe Verwandtschaft zwischen Rhaphiden und prismatischen Einzelkrystallen spricht sich weiter durch das vielfache Erscheinen der Schwalben-

---

[1] *Cuboni, G.*, Appunti sull' anatomia e sulle fisiologia delle foglie della vite (Riv. di enol. e vitic. ser. II. An. 70. Conegliano.)

[2] *Wiesner.* Ueber eine bestimmte Orientirung der Krystalle von oxalsaurem Kalk in dem Pflanzengewebe. Oesterr. bot. Zeitschr. 1875.)

schwanz-Zwillinge bei beiden aus. So hat z. B. *Arthropodium* in vielen seiner Arten neben Rhaphiden mit Zwillingsbildung alle Uebergänge zu riesigen Prismen von Schwalbenschwanzform, ebenso ist es bei *Dracaena*-Arten. In den Blättern von *Dracaena australis* findet man Krystalle, welche der Zusammenlagerung nach zu den Rhaphiden, der Gestalt nach zu den sonst isolirt erscheinenden Prismen gerechnet werden müssen. Viele *Rubiaceen* enthalten nur Rhaphiden, andere *(Coussarea, Psychotria, Ixora, Rondeletia)* neben diesen noch Prismen der Gypsform.

Rhaphiden sind hauptsächlich in folgenden Familien und Gattungen beobachtet worden:

MONOCOTYLEDONEN.

Lemnaceen (ausser *Wolffia*).
Araceen: Aroideen, Calloideen, Typhaceen, Pandanaceen.
Palmae: alle von mir untersuchten Gattungen und Arten.
Commelynaceen: Commelyna, Tradescantia, Dichorisandra.
Smilaceen: Convallaria, Majanthemum, Asparagus, Paris, Ruscus, Smilax, Dracaena.
Melanthaceen: Veratrum, Tofieldia, Uvularia, Colchicum.
Pontederiaceen: Pontederia, Eichhornia.
Liliaceen: Scilla, Ornithogalum, Muscari, Hyacinthus, Gagea, Endymion, Anthericum, Chlorophytum, Narthecium, Asphodelus, Hemerocallis, Funkia, Agapanthus, Phormium.
Amaryllideen: Galanthus, Leucojum, Sprekelia, Crinum, Amaryllis, Eucharis, Pancratium, Narcissus, Alstroemeria, Queltia, Aloë, Agave.
Dioscoreaceen: Dioscorea, Tamus, Testudinaria.
Roxburghiaceen: Roxburghia (Bokorny).
Herreriaceen: Herreria (Bokorny).
Ophiopogonaceen: Peliosanthes (Bokorny).
Orchideen: alle bisher darauf untersuchten.
Bromeliaceen: alle von mir untersuchten Arten (neben anderen Krystallformen).
Cannaceen: Canna, Phrynium.

DICOTYLEDONEN.

Onagraceen, alle untersuchten Gattungen und Arten.
Rubiaceen: Hedyotis, Hamelia, Knoxia, Morinda, Damnacanthus, Faramea, Mephitidia, Psychotria, Rudgea, Pae-

deria, *Hamiltonia*, *Anthospermum*, *Nenax*, *Gaillonia*, *Psyllocarpus*, *Galium*, *Asperula*, *Sherardia*, *Rubia*, *Cephaëlis*.
Balsamineen: Impatiens.
Saxifragaceen: Hydrangea, *Decumaria*.
Ficoideen: Mesembryanthemum, *Giesekia*.
Rutaceen: Erytrochiton, *Galipea*.
Urticaceen: Thelygonum.
Dilleniaceen: Davilla, *Hibbertia*.
Ternstroemiaceen: Marcgravia, *Norontea*, *Saurauja*, *Actinidia*, *Ruyschia*, *Souroubea* (fehlen bei *Stachyurus praecox [Solereder]*).
Ampelideen: Vitis, *Ampelopsis*, *Cissus*, *Leea (hirta)*.
Phytolaccaceen: Phytolacca, *Anisomeria*, *Ercilla*.
Nyctagineen: Bougainvillea, *Cryptocarpus*, *Neea*, *Pisonia*, *Leucaster*.
Gaertnereen: (Loganiaceentribus).
Oleaceen: Olea europaea, *Fontanesia*, *Forsythia*.
Gordonieae: Pelliciera.
Lauraceen: Cinnamomum.

Es liegt in dem eben Gesagten zugleich ein Protest gegen die Angaben *Higley's*[1], der die Rhaphiden mehrerer *Aroideen (Arisaema triphyllum, Dracontium, Symplocarpus foetidus), Ampelideen (Vitis vinifera, cordifolia, aestivalis, Ampelopsis hederacea)* für phosphorsauren Kalk erklärt, der sich sogar zu dem Schluss gedrängt sieht: „die Rhaphiden in ihrer Gesammtheit bestehen aus Calciumphosphat". Sowohl die Einzelfälle als auch die gänzlich unmotivirte Schlussfolgerung sind falsch und um möglichst wenig Raum zu verlieren, füge ich gleich hier hinzu, ebenso irrthümlich sind die übrigen Behauptungen *Higley's:* „Die kubischen Krystalle in der Pflanze bestehen aus Calciumcarbonat *(Cynthia virginica, Lappa major, Tanacetum vulgare).*" Kubische Krystalle von Calciumcarbonat giebt es überhaupt nicht, und meint dieser Autor damit die einem Cubus ganz entfernt ähnlichen Hendyoëder, so kann ich nur mittheilen, dass mir niemals solche aus Kalkcarbonat vorgekommen sind.

[1] *Higley, W. K.* The mikroscopic Krystals contained in plants. (Americ. Naturalist 1880. Nov.-Pharm. Journ. and Transaction 1881. Jan.)

REACTIONEN DES OXALSAUREN KALKES.

Es muss von Interesse sein, die Reactionen zu wissen, durch welche wir den oxalsauren Kalk erkennen und von anderen ähnlichen Kalksalzen zu unterscheiden vermögen. Oxalsaurer Kalk verwandelt sich durch Glühen in Calciumcarbonat, ist in Essigsäure unlöslich, dagegen leicht löslich in Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure und Chlorzinkjod (welches immer Salzsäure enthält). Apfelsaurer Kalk dagegen ist in Wasser, wein- und citronensaurer in Essigsäure löslich, eine Verwechslung mit diesen Salzen demnach nicht möglich. Traubensaurer Kalk hat noch die meiste Aehnlichkeit mit dem oxalsauren; beide sind unlöslich in Wasser und Essigsäure, beide löslich in Mineralsäuren und Kalilauge. Allein bei Lösung von oxalsaurem Kalk in Kaliumhydroxyd scheidet sich allmälig in charakteristischen Formen krystallisirendes Kalium-Kalk-Doppelsalz aus, während das traubensaure Kalium-Kalksalz in Lösung bleibt. Phosphorsaurer Kalk ist in Essigsäure löslich und unterscheidet sich schon dadurch scharf vom oxalsauren; ausserdem lässt sich, wie bekannt, die Phosphorsäure sicher und selbst in minimalen Mengen nachweisen. Schwefelsaurer Kalk ist unlöslich in Säuren. (Siehe Anhang.)

ABSCHNITT II.

CALCIUMCARBONAT.

Eine hinter der des Kalkoxalats zurücktretende, aber noch immer sehr grosse Verbreitung im Reich der Gewächse hat der in fester Form ausgeschiedene kohlensaure Kalk, an dessen Ubiquität in gelöster Form wohl Niemand zweifeln dürfte. Während aber der oxalsaure Kalk seine vornehmste Bedeutung als Inhaltsbestandtheil hat, wenn er auch, wie wir gesehen haben, in Membranen eingelagert und in seltenen Fällen aufgelagert vorkommt, tritt beim Kalkcarbonat das Vorkommen als Incrustationsmittel der Cellulose durchaus in den Vordergrund. Die Cellulosemembranen sind ausserordentlich häufig mit kohlensaurem Kalk incrustirt, vor allem ist es das Hautgewebe mit seinen Derivaten, welcher in den Wänden seiner Zellen bei zahlreichen Pflanzen reichliche Mengen dieses Salzes führt. Wahre Niederlagen für dasselbe sind die Cystolithen und alle die Gebilde, welche sich morphologisch und physiologisch

direkt an diese anschliessen. In relativ geringer Quantität ist der kohlensaure Kalk als fester Inhaltsbestandtheil im Pflanzenreich zu finden und auch als Auflagerung spielt er, soweit unsere bisherigen Kenntnisse darüber reichen, eine bescheidene Rolle. Pflanzen, wie die sogenannten „Kalkalgen", die eben ihrem hohen Gehalt an Kalkcarbonat ihren Namen verdanken, beherbergen dasselbe sowohl in den Membranen als auch zum Theil im Inhalt der Zellen und als einfache Auflagerung auf die Zellen, weshalb diese Gewächse in allen dreien der sogleich zu nennenden Theile dieses Capitels abzuhandeln wären, wenn nicht bei ihnen die Einlagerung des in Rede stehenden Salzes so sehr überwöge, dass es berechtigt erscheinen wird, sie nur im dritten Theil einzuordnen und zugleich an diesem Ort die Bemerkungen über ihren kohlensauren Kalk als integrirenden Bestandtheil des Zellinhalts und als Auflagerung anzufügen.

Ich werde das den kohlensauren Kalk betreffende Capitel demgemäss in folgende Theile zerlegen:

I. Kalkcarbonat als Auflagerung.
II. Kalkcarbonat als Inhaltsbestandtheil.
III. Kalkcarbonat als Incrustationsmittel.

I. AUFLAGERUNG VON KALKCARBONAT.

Eine Anzahl von Pflanzen, viele *Saxifraga*-Arten, *Plumbagineen*[1] und *Farne* scheiden auf ihren Oberhautzellen resp. durch besondere Kalkdrüsen Kalkcarbonat aus. Als Calciumbicarbonat wird der Kalk excernirt, durch Verdunstung des Lösungsmittels dieses Salz zerlegt unter Abscheidung des einfach kohlensauren Kalkes, der, wenn die gesammte Oberhaut absondert, als mehr oder minder gleichmässige Kruste die Pflanze überzieht, oder wenn nur Wasserspalten oder Kalkdrüsen ausscheiden, in Form von Schuppen die Pflanze bedeckt. Eine ziemlich dicke, ununterbrochene, mit zahlreichen warzenartig-kugligen Erhabenheiten bedeckte Schicht überzieht beide Blattseiten bei den *Plumbagineen: Acantholimon bracteatum Boiss., cabulicum Boiss., Kotschyi Boiss., Hohenackeri Boiss., Phrygium Boiss., Pinardi Boiss.* Gleichmässig

[1] *Braconnot*, Ann. chim. et phys. LXIII. — *Treviranus*, Phys. II. 101. — *Mettenius*, Filic. hort. Lips. p. 9. — *Volkens*, *G.* Die Kalkdrüsen der *Plumbagineen* (Ber. d. Deutsch. Bot. Ges. Bd. II. p. 334 ff.).

ist die Kalkdecke bei *Goniolimon speciosum Boiss., Statice globulariaefolia Desf., pruinosa L., Stocksii Boiss., cabulica Boiss., Limoniastrum monopetalum Boiss.* und *Guyonianum Dur.* Verschwindend dünn ist die Schicht bei *Acantholimon lepturoides Boiss., caryophyllaceum Boiss., melananthum Boiss., petraeum Kotsch. et Boiss.* und *Saxifraga crustata,* bei welchen Pflanzen ausserdem noch kleine Kalkschuppen aufliegen, während nur zerstreute Kalkschuppen haben: *Statice pectinata Ait., papillata Web., caspia var. patens Willd., Plumbago zeylanica Fr., capensis Thunb., Valoradia plumbaginoides Boiss.* und *abyssinica Hochst.*

In Schuppen auf der Epidermis über den Gefässbündelenden finden wir den kohlensauren Kalk bei vielen Farnblättern, so bei *Polypodium subauriculatum, meniscifolium, repens, aureum, sporadocarpum, areolatum, crassifolium, morbillosum,* ferner bei *Nephrolepsis*-Arten, bei *Aspidium leucostictum, albopunctatum, pedatum, Lomaria attenuata*[1]. Bei den angeführten Farnen sitzen in flachen, bei *Lomaria attenuata* in tief flaschenförmigen Grübchen, weisse Kalkschüppchen, welche merkwürdiger Weise, wie der Versuch lehrt, nach Wegnahme nicht erneuert werden. Bei den *Saxifragen*[2] werden die Kalkschuppen zwar auch in Grübchen abgesondert, allein bei ihnen sind stets Wasserspalten vorhanden, welche in verschiedener Zahl und Anordnung gewöhnlich an den oberseitigen Rändern der Blatt-Kerbzähne gelegen sind, bei ihnen werden auch, wie man experimentell nachweisen kann, die Schüppchen nach Entfernung erneuert.

In Fig. I Taf. III ist ein solches Grübchen im Blattquerschnitt von *Saxifraga aizoon* dargestellt. Das Gefässbündel g endigt in dem Sekretionsapparat s, der aus langgestreckten sehr dünnwandigen Zellen zusammengesetzt ist, Birnenform hat und in welchen Gefässe (in der Figur als dunkle Linien dargestellt) in grosser Zahl einmünden. Am Scheitel des Sekretionsapparates ist bei w eine Schliesszelle der Wasserspalte zu sehen, welche am Grund des mit Kalkcarbonat K erfüllten Grübchens G liegt. Die dickwandige Epidermis e ist am Grund des Grübchens unterbrochen, um letztere herum oder nur nach dem Blattrand zu trägt

[1] *Treviranus*, Vermischte Schriften, IV. 66. — *Mettenius*, Filices horti Lipsiensis p. 8, 9.

[2] *Unger*, Einfluss des Bodens etc. p. 178. — Ders., Beiträge z. Phys. d. Pfl. VIII. Sitzber. d. Wiener Acad. Bd. 43. p. 519. — *Mettenius*, Filices horti Lipsiensis. — *Engler*, Monographie der Saxifrag. p. 14.

sie kurze dickwandige Haare t, die jedenfalls zum Festhalten der Kalkausscheidung k dienen. Kocht man Blätter von *Saxifraga crustata* in Aetzkali, so lässt sich dann mit Leichtigkeit der Gefässbündelverlauf erkennen und wahrnehmen, dass jeder Sekretionsapparat s in der Nähe einer Blattkerbe liegt und eine Anschwellung eines Gefässbündelendes ist. Fig. 2 ist das auf angegebene Weise präparirte Ende eines Blattes von *Saxifraga crustata.* s s die Sekretionsapparate.

Aehnliche Kalkschüppchen, welche ausser kohlensauren Kalk noch etwas Kieselsäure und organische Substanz enthalten, liegen längs des Blattrandes über den Enden der Seitennerven I. Ordnung auf der Unterseite des Blattes von *Pilea muscosa,* anfangs als kleine schneeweise kreisrunde Fleckchen sichtbar, welche später seitlich mit einander verschmelzen und einen weissen zusammenhängenden Saum bilden. (Siehe Fig. 3.)

Ausserordentlich reich an Kalkcarbonat sind auch die Salzkrusten, welche viele Wüstenpflanzen überziehen und diesen den ihnen eigenthümlichen weissen Glanz verleihen. Es gehören hierher *Reaumuria hirtella* der ägyptisch-arabischen Wüste, *Tamarix articulata, T. mannifera* ebenda sehr häufig, *Frankenia pulverulenta* und *Fr. capitata,* beide in Süd-Afrika weit verbreitet, *Vogelia africana Lam.,* ein hoher Halbstrauch des Kalaharigebietes und mehrere oben noch nicht erwähnte *Statice*-Arten, *Statice linifolia L.* der Kapflora, *St. scabra Willd.* der Lagunen von Angra Pequena und *St. rosea Smith* an den Nordufern der Tafelbai.[1] Neben geringen Mengen von schwefelsaurer Magnesia, Chlormagnesium, Chlornatrium, salpetersaurem und kohlensaurem Natron und phosphorsaurer Magnesia enthalten diese Krusten in manchen Fällen *(Tamarix articulata)* über 50 p. c. Kalkcarbonat.

Isolirte Kalkschuppen erzeugen ferner die Drüsen von *Statice monopetala,* während andere *Statice*-Arten zwar Drüsen besitzen, aber bisher immer ohne Schuppen gefunden wurden, so *Statice Limonium L., St. latifolia Sm., St. sarpetana Becker.*[2]

---

[1] *Volkens, G.* Zur Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. (Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. 1886. VI. p. 63 ff.) — *Marloth, R.* Zur Bedeutung der salzabscheidenden Drüsen der Tamariscineen. (Ber. d. d. bot. Gesellsch. 1887. H. 8. p. 319 ff.

[2] *Woronin, M.* Ueber die Structur der Blätter von Statice monopetala L. (Bot. Ztg. 1885. No. 12. p. 177—185.)

An submersen Wasserpflanzen ist oft die ganze Oberfläche mit einem dicken Ueberzug von Kalkcarbonat bedeckt. Hier muss naturgemäss der Process der Kalkabscheidung ein anderer sein und eine andere einleitende Ursache haben als bei den Landpflanzen, hier kann es sich nicht um eine einfache Secretion von Kalkbicarbonat und dessen nachherigen Zerfall handeln, wie *Bischoff*[1] und *Payen*[2] postulirten, denn hier fehlt ja die für jene wichtige Verdunstung der eventuell ausgeschiedenen Kalklösung und eine spontane Dissociation beim Uebertreten des Excretes aus den Zellen in das Wasser ist nicht anzunehmen. Man pflegt daher für die Wasserpflanzen die Fähigkeit in Anspruch zu nehmen, aus dem im Wasser enthaltenen Calciumbicarbonat ihren zur Assimilation nöthigen Sauerstoff aufzunehmen, wobei dann das einfache Kalkcarbonat auf der Pflanze sich absetzen kann. Wenn diese Anschauung, welche zuerst von *Raspail*[3] aufgestellt und später von anderen Forschern wie *Cohn*[4], *Hanstein*[5], *Wiebel* und *Zacharias*[6] erweitert und verallgemeinert worden ist, richtig, und dieser rein chemische Prozess die alleinige Ursache der Kalkablagerung auf Wasserpflanzen wäre, so müssten nothwendiger Weise alle in kalkreichen Gewässern lebende submerse Gewächse Kalküberzüge besitzen, was bekannter Maassen nicht der Fall ist. Während *Chara, Cladophora, Chaetophora* und andere, besonders die tuffbildenden Algen immer Ueberzüge von Calciumcarbonat zeigen, *Elodea, Ceratophyllum, Myriophyllum, Vallisneria, Oedogonium, Potamogeton* etc. häufig, und bei den genannten Pflanzen die Kalkauflagerung aus Kalkwasser künstlich hervorgerufen werden kann, wird bei *Zygnema, Spirogyra* etc. niemals, weder im Freien, noch in künstlichen Kalklösungen Kalküberzug beobachtet.

Es muss demnach noch eine innigere Beziehung zwischen Pflanze und Calciumcarbonat vorhanden sein, wenn es zur Kalkausscheidung kommen soll, es muss die Pflanze selbst activ an der Zerlegung des doppelkohlensauren Kalkes betheiligt sein und es

---

[1] *Bischoff*, Kryptogam. Gewächse Deutschlands und der Schweiz. 1. Lief. 1828. p. 21.

[2] *Payen*, Mem. prés. p. div. Savants etc. T. IX. 1846. p. 78.

[3] *Raspail*, Nouveau système de chimie organique 1833. p. 321.

[4] *Cohn*, F. Abhandlg. d. Schles. Ges. Bd. II. 1862. p. 52.

[5] *Hanstein*, Bot. Ztg. 1873. p. 694.

[6] *Wiebel* und *Zacharias*, Ber. d. berl. chem. Ges. 1873. p. 182.

ist nach den Untersuchungen *Hassack's*[1] wahrscheinlich, dass eine ausgiebige Alkaliausscheidung durch die Pflanze die Zerlegung des gelösten Calciumbicarbonats unter Abscheidung von normalem Carbonat bedingt. Es gelang *Hassack*, diese Alkaliausscheidung im Sonnenlicht für *Chara* und *Oedogonium* sicher nachzuweisen und für die erstere Pflanze darzulegen, dass sie im Stande ist, aus Kalklösungen beliebiger Zusammensetzung (Calciumnitrat, -acetat, -chlorid, -sulfat) Kalkcarbonat im direkten Sonnenlicht abzuscheiden und auf ihrer Oberfläche aufzulagern. Ob diese letztere Verallgemeinerung für alle sich mit Kalk überziehende submerse Pflanzen passend ist, ist eine vor der Hand noch offene Frage.

Jedenfalls geben dieselben Processe den rhomboëdrischen Kalkcarbonatkrystallen ihren Ursprung, welche man in dem Schleim der *Oscillaria viridis* und Verwandter eingebettet findet.[2]

Zu den Kalkauflagerungen sind auch die zwischen den Fäden von *Hydrurus, Chaetophora* und anderen Algen vorkommenden Kalkkrystalle und Drusen zu zählen, ebenso die in den äusseren Zellschichten liegenden von *Halimeda* etc. (siehe unten). *Chara fragilis* lagert Kalkcarbonat in krystallinischer Form zwischen Rindenzellen und Achsenzelle ab, andere *Charen* gleichzeitig im Innern und auf der Aussenseite der Rindenzellen. *(Ch. hispida, aspera, equisetifolia, stelligera* etc.)[3]

Pringsheim[4] ist im Gegensatz zu *Hassack* geneigt, die Kalkablagerung auf Wasserpflanzen als Folge der assimilatorischen Thätigkeit der Zellen anzusehen, indem er annimmt, dass jede assimilirende Zelle dem Calciumbicarbonat unter geeigneten Umständen einen Theil der Kohlensäure, welchen sie zerlegt, zu entziehen vermag, während sie Calciumcarbonat auf ihrer Oberfläche niederschlägt. Ich werde an geeigneter Stelle ausführlich mittheilen, dass ich mich weder der *Hassack'*schen noch der *Pringsheim'*schen Anschauung in allen Stücken anschliessen kann, dass ich vielmehr die Kalkcarbonatausscheidung für einen

[1] *Hassack, Carl.* Ueber das Verhältniss von Pflanzen zu Bicarbonaten und über Kalkincrustation. (Unters. a. d. bot. Inst. zu Tübingen. Bd. II. H. 3. 1888.)

[2] *Gomont, M.* Note sur le genre Phormidium. (Session crypt. à Paris, oct. 1887. p. 18—21.)

[3] *Hanstein.* Sitzber. d. Niederrh. Ges. f. Natur- u. Heilkunde 1872.

[4] *Pringsheim, N.* Ueber die Entstehung der Kalkincrustationen an Süsswasserpflanzen. (Pringsheim's Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 19. H. 1.)

mit der Athmung auf's innigste verketteten Vorgang halte. Es ist die bei der Respiration erzeugte Kohlensäure, welche bei bestimmten Pflanzen festes Carbonat entstehen lässt, denn ich fand auch bei chlorophyllfreien Pflanzen ansehnliche Ausscheidungen von Kalkcarbonat, welches mitunter durch Kalkoxalat substituirt wird.

Als exquisite Beispiele führe ich einerseits *Fusiporium roseum Link* und andererseits *Lachnella nivea Fr.* an; jener Pilz, den ich in grossen Mengen auf feuchtem Sand cultivirte, producirt zwischen den Hyphen des zierlichen, bäumchenförmigen Stromas grosse Sphaerit-ähnliche Kalkcarbonatmassen, dieser im Gewebe seines Fruchtkörpers prachtvolle tetragonale (seltener monocline) Krystalle oxalsauren Kalkes von ansehnlicher Grösse. In beiden Fällen ist Chlorophyll nicht vorhanden, in beiden Fällen Kalk nur durch die Organe des Pilzes selbst zugeleitet worden, denn die Orte der Ablagerung waren nicht etwa mit Bodenwasser in Berührung und trotzdem kam es in beiden Fällen regelmässig zur Bildung relativ sehr bedeutender Kalksalzmassen. Auch im Dunkeln gehaltene Exemplare genannter Pilze blieben hinter belichteten in der uns hier interessierenden Beziehung nicht zurück. Zwischen dem Verhalten der *Peziza Sclerotiorum,* über welches *de Bary*[1] früher berichtete, und dem genannter Pilze ist der wesentliche Unterschied, dass jene die Kalksalze bildete aus kalkhaltiger Nährlösung, welche sie umspülte, diese dagegen den Kalk dem Substrat selbst entnehmen und transportiren mussten.

Ich glaube aus meinen Beobachtungen an genannten Pilzen und zahlreichen anderen schon jetzt folgern zu können, dass diese Organismen Kohlehydrate oder ganz ähnliche Verbindungen zu Kohlensäure oder zu Oxalsäure zu oxydiren im Stande sind (*de Bary's* „Process der Oxydationsgährung") und diese Säuren entweder noch innerhalb, in anderen Fällen ausserhalb der Hyphen mit Kalk zusammentreten lassen. Diese Production relativ grosser Kalksalz-Massen bei chlorophyllosen Pflanzen lässt es jedenfalls räthlich erscheinen, auch bei der Frage nach der Ursache der Kalkincrustationen von Algen nicht voreilig zu entscheiden und dem Assimilationsvorgang Wirkungen zuzuschreiben, die ihm, wie mir wahrscheinlich ist, gar nicht zukommen. Auch über dieses

[1] *de Bary, A.* Ueber einige Sclerotinien und Sclerotienkrankheiten (Bot. Ztg. 1886. No. 23. p. 403 ff.)

Problem werde ich mich demnächst ausführlich äussern, es ist die diesbezügliche experimentelle Untersuchung bereits im Gange.

Wie wir sogleich sehen werden, reihen sich an die Pilze direct hoch entwickelte Pflanzen an, welche auch bezüglich ihrer Lebensweise den Pilzen nahestehen.

Krause[1] bestätigte die von *Meyen*[2] bereits früher gemachte, von *Stenzel*[3] in Frage gestellte Beobachtung, dass in den Blatthöhlungen von *Lathraea Squamaria* aus Kalkcarbonat (in der Hauptsache) bestehende Körnchen, welche nach Lösung dieses Salzes ein feines durchsichtiges Skelett von gleichem Bau hinterlassen, häufig vorkommen. Die Dimensionen dieser Körner machen die Annahme, dieselben könnten von aussen eingedrungen sein, mehr als unwahrscheinlich. Diese Kalkkörper sind oft so zahlreich, dass sie alle Drüsen in ihrer Masse einbetten. Dass letztere das Kalkcarbonat secerniren, dagegen spricht die Thatsache, dass das Salz bereits in so jungen Schuppen vorhanden ist, in deren spaltenförmigen Höhlen von den Drüsenanlagen noch keine Spur zu sehen ist.[4] Es hat demnach den Anschein, als ob von der Pflanze gelöstes Kalkcarbonat durch die Epidermis in die Höhlungen abgesondert wird; welches dann unter Entweichen von Kohlensäure fest wird. Ich habe genannte Pflanze auf diese Ausscheidung hin nochmals untersucht und fand neben den Concrementen körniger Natur, die allerdings nach Lösung des Carbonats ein zartes Skelett hinterlassen, auch noch Solitäre und Drusen von sehr stattlicher Grösse, welche einen Rückstand nicht lassen. Diese sind ausserordentlich häufig den Drüsen angelagert wie die Fig. 7 u. 9 Taf. III wiedergeben, so dass man sich des Eindrucks nicht erwehren kann, als spielten letztere eine Rolle bei der Secretion des Kalkcarbonats wenigstens bei den älteren Blättern. Fig. 4 ist ein krystallinisches Kalkcarbonatkorn, Fig. 8 ein Solitär, Fig. 5, 6, 7 Drusen, 7 und 9 Drüsenhaare mit ansitzenden Krystallen aus den Blatthöhlen von *Lathraea Squamaria.*

---

[1] *Krause, H.* Beiträge zur Anatomie der Vegetationsorgane von *Lathraea Squamaria.* Diss. Berlin 1879. p. 32.

[2] *Meyen.* Phytotomie. Berlin 1830. p. 207.

[3] *Stenzel.* Bot. Ztg. 1871. p. 249—51.

[4] *Scherffel, A.* Die Drüsen in den Höhlen der Rhizomschuppen von *Lathraea Squamaria.* (Mitth. aus d. Bot. Inst. zu Graz. 2. Heft. 1888. p. 208 ff.)

Es sei noch bemerkt, dass ich sehr viele Kalkkörper ohne den von *Scherffel* hervorgehobenen zarten hyalinen, hautartigen Ueberzug gefunden habe, dass alle Solitäre und Drusen gleichfalls desselben entbehrten; es ist dieser Ueberzug daher als eine mehr zufällige Beimengung, wahrscheinlich als einfaches Erstarrungsprodukt des die Höhlenwand überziehenden Schleims zu betrachten.

II. KALKCARBONAT ALS ZELLINHALTSKÖRPER.

Als fester Bestandtheil des Zellinhalts erscheint das Kalkcarbonat bei sehr vielen *Myxomyceten*, um später wieder aufgelöst zu werden und als Auf- oder Einlagerung in Krystallform wieder zu Tage zu treten.

In den Pericarpien der Früchte einiger weniger Pflanzen ist das Salz als Inhaltskörper zu constatiren, ebenso im Thallus mehrerer Kalkalgen (letzteres siehe unten III). Hieran schliessen sich die vereinzelten Vorkommnisse des Kalkcarbonats als Ausfüllungsmasse ganzer Zellen, welche ich am Schlusse dieses Unterabschnittes mitgetheilt habe.

DAS KALKCARBONAT DER MYXOMYCETEN.

Viele *Myxomyceten* führen Kalkcarbonat sowohl im Plasmodium als auch im Fruchtkörper. In ersterem bildet das Carbonat rundliche, dunkelcontourirte, stark glänzende Körner. Bei gefärbten Plasmodien ist das Pigment stets ein Begleiter der Körner, indem es in Form von Farbstoffkörpern eine oder mehrere Kalkkörnchen umschliesst. Während bei den Gattungen, deren reife Sporangien frei von Kalkablagerungen sind, die ganze Inhaltsmasse des jungen Sporangiums zum Sporenplasma wird, sondert sich der Kalk und das Pigment bei den Gattungen, deren reife Sporangien mit Kalkablagerungen versehen sind, von dem feinkörnigen farblosen Sporenplasma ab. Die Kalkkörnchen (und die Farbstoffkörper) bleiben bei der Formung des Sporangiums theils in der Höhlung des Stiels zurück, theils werden sie an die Sporangiumwand gelagert und in die Capillitiumröhren eingeschlossen. Die nicht in den Stiel und an die Wand gelagerten Kalkkörner sammeln sich bei *Physarum* und den nächst verwandten Gattungen dann meist zu verschieden geformten länglichen Klümpchen an, welche (je nach Species) theils an die Wand befestigt, theils in dem Raume des

Sporangiums zerstreut sind und sich gleichzeitig mit dem Auftreten der ersten Sporenkerne durch eine Membran zu den „Kalkblasen“ dzs Capillitiums abgrenzen. Fig. 10 Taf. III stellt ein Stück Sporangiumwand nebst einem ihr angewachsenen Capillitium von *Physarum albipes Fr.* dar. a sind die Anheftungsstellen der Capillitiumröhren, b die Kalkblasen, c die Kalkkörnchen. Bei *Didymium* beginnt während oder unmittelbar nach der Formung des Sporangiums und lange vor Anfang der Sporenbildung der Kalk aus dem Innern des Sporangiums zu verschwinden, während sich die anfangs glatte Aussenfläche mit den für die Gattung charakteristischen Krystalldrusen (s. Fig. 11, 12, 13) bedeckt. Ich habe in Fig. 13 Taf. III ein Stück Sporangiumwand von *Didymium nigripes Fr.* abgebildet, welchem aussen die zum Theil zerbrochenen Kalkcarbonatdrusen aufsitzen. Fig. 11 stellt dasselbe von *Didymium farinaceum Fr.* dar. aa ist die Sporangiumwand, der innen die Capillitiumfasern cc ansitzen, aussen die Kalkcarbonatdrusen b. Durchschneidet man ein reifes Sporangium von *Didymium Serpula Fr.*, so erblickt man der in zwei Schichten gespaltenen unteren Sporangiumwand Kalkcarbonatstückchen cc unregelmässig eingelagert, während der zarten oberen Sporangiumwand Kalkdrusen dd in Menge aufgelagert sind. ff stellen die Capillitiumfasern dar, pp grosse derbwandige Pigmentbehälter. (Fig. 12.) Das Kalkcarbonat wird hier also gelöst und die Lösung durch die Wand filtrirt. Zur Zeit der Sporenbildung ist die Ausscheidung vollendet. Bei *Didymium Serpula*, dem einzigen *Didymium* mit gefärbtem Plasmodium, tritt das gelbe Pigment nicht mit dem Kalk nach aussen, sondern sammelt sich in grossen, später mit derber violetter Membran versehenen Blasen an (pp in Fig. 12).

Durch die Auflagerung von Kalkkörnchen oder Krystalldrusen von Kalkcarbonat erhalten die Sporangien vieler *Myxomyceten* den bekannten reifartigen Ueberzug.

Die Rinde von *Aethalium septicum Fr.* ist im trockenen Zustande überaus spröde, zerbröckelt in der freien Natur sehr bald, lässt sich leicht zu feinem Pulver zerreiben, und besteht grösstentheils aus kohlensaurem Kalke, welcher in Form kleiner kugliger Körnchen abgelagert ist, die mit Salzsäure unter Aufbrausen und Zurücklassung geringer Quantitäten intensiv gelbbraun gefärbter organischer Substanz sich lösen. Die Wand der Sporangien wird von einer sehr zarten durchsichtigen, gelblichen Membran gebildet mit zahl-

reichen, entweder gleichförmig vertheilten oder zusammengehäuften kugligen Kalkkörnchen, welche überzogen und gleichsam zusammengeklebt sind von gelber gefärbter organischer Substanz. Die Capillitiumfasern sind stellenweise zu Kalkblasen erweitert, die bei einigen Arten klein, spindelförmig und vereinzelt, bei anderen zahlreich und gross sind.

Auch die Sclerotienform einiger *Myxomyceten* weist derartige Kalkauflagerungen auf. So fand *de Bary* die Schicht quellender Substanz, welche die Aussenfläche der Sclerotien bildet, bei *Didymium Serpula* und *D. Libertianum* mit kleinen Körnchen oder Kryställchen von Kalkcarbonat bestreut, oft dicht bepudert. Die Sclerotien von *Aethalium* sind mit dicken unregelmässigen Kalkschuppen und Krusten von krystallinischem Gefüge bedeckt. Ein Theil des im Plasmodium enthaltenen Kalkes wird also auch hier gelöst und ausgeschieden.

Das Auftreten des Kalkcarbonats ist bei einer grossen Anzahl von *Myxomyceten* so charakteristisch und regelmässig, dass man dasselbe als Eintheilungsprinzip systematisch verwerthet. [1]

Sämmtliche *Calcareen (Cienkowskiaceen, Physaraceen, Didymiaceen, Spumariaceen)* sind kalkführend und zwar besitzen die *Cienskowskiaceen* und *Physaraceen* das Kalkcarbonat in Form amorpher Körnchen, erstere in mächtigen Kalkblasen, letztere in netzartig verbundenen dünnwandigen Capillitiumröhren. *Badhamia Brk, Trichamphora Jungh.,* und *Tilmadoche Fr.* haben ausserdem Kalkablagerungen in Körnchenform auf ihrer zarten Sporangienwand, *Physarum de By.* zeigt in der einfachen oder doppelten Wand Ab- oder Zwischenlagerungen von Kalkcarbonat, *Craterium Fr.* nur in der inneren Schicht der Aussenwand. Die letzten drei Gattungen beherbergen Kalkkörnchen auch in den wenigen zu Kalkblasen entwickelten Knoten, von denen einer besonders stattlich bei *Craterium* die Columella ersetzt; wie *Craterium* verhält sich *Leocarpus Lk.,* nur besitzt derselbe ausser dem Columella-Knoten noch andere mächtig entwickelte und kalkführende. *Crateriachea* n. sp. kommen neben der kalkhaltigen cylindrischen Columella noch wenige Knoten mit Kalk zu. *Fuligo Hall.* weist in der obersten Partie der Aethalien ein Sporangiengeflecht mit Kalkkörnern erfüllt auf. Sämmtlichen *Didymyaceen* sind Ab-,

[1] *Rostafiński, J. T.* Vers. eines Systems der Mycetozoen. Strassburg 1873.

Zwischen- und Einlagerungen von Kalkcarbonat in Form von Krystalldrusen oder amorphen Körnern eigen, welche oft zu mächtigen spröden Krusten angehäuft werden; Kalkablagerungen in den Capillitiumsträngen kommen bei ihnen nur ausnahmsweise und dann immer in Form von Krystalldrusen vor. Bei den sitzenden Formen ist die Columella bekanntlich eine ansehnliche Verdickung der basalen Sporangiumwandpartie mit reicher Einlagerung von Kalk, seltener eine mit Kalkkörnern erfüllte Blase, bei den gestielten Formen oft eine von Stiel und Sporangiumhöhle vollständig durch eine besondere Haut umschlossene Blase, welche durch zahlreiche Hautlappen in einzelne, Kalkdrusen führende unvollständige Kammern getheilt ist. Innerhalb dieses Tribus ist bei den einzelnen Gattungen der Ort des Auftretens und Gestalt der Kalkcarbonatausscheidungen sehr verschieden. So besitzt *Leangium Lk.* Kalkeinlagerung in der inneren dicken Schicht der einfachen Sporangiumhaut, *Didymium de By* trägt zahlreiche Kalkdrusen auf der äusseren Sporangiumwand, *Lepidoderma de By* ebendaselbst glänzende Schüppchen, *Chondrioderma n. sp.* amorphe Kalkkörner, welche sich oft zu dicken Krusten anhäufen. Von den *Spumariaceen* erwähne ich *Diachea Fr.*, welche Kalk in Stiel und Columella aufweist und bei der die Innenfläche der Sporangiumwand mit einzelnen Kalkkörnern bedeckt ist, während *Spumaria* Aethalien mit schwammiger kalkhaltiger abfallender Rinde producirt; ihre Sporangiumstöcke sind oft auf der ganzen Oberfläche mit grossen Kalkkrystalldrusen bedeckt.

Die *Enterideen (Lycogalaceen), Anemeen (Dictyosteliaceen, Liceaceen, Licaethaliaceen), Heterodermeen (Cribariaceen, Dyctydiaethaliaceen), Reticularieen (Reticulariaceen)* und die *Amaurochaeteen (Stemonitaceen, Echinosteliaceen, Enerthemaceen, Amaurochaetaceen, Brefeldiaceen)* sind kalkfrei, ebenso von den *Calonemeen* die *Trichiaceen* und *Arcyriaceen*, nur die *Perichaenaceen* sind durch Kalkeinlagerungen in der äusseren Sporangiumwand ausgezeichnet.

KALKCARBONAT IN PERICARPIEN.

Die Pericarpien der Früchte einiger Pflanzen enthalten soviel kohlensauren Kalk, dass sie mit Salzsäure brausen; für *Lithospermum* constatirte dies bereits *Saussure*[1] im Jahre 1804;

[1] *Saussure.* Recherches chimiques sur la végétation. Chem. Unters. über die Veg. Deutsch von *F. S. Voigt.* p. 274.

De Candolle[1] fand neben dem Kalksalze noch Silicate, *Treviranus*[2] bestimmte den Kalkgehalt quantitativ und *Payen*[3] suchte die Frage, in welcher Form das Kalkcarbonat in der *Celtis*-Frucht vorhanden sei, zu beantworten und gab an, der Kalk sei im Innern der Zellen in einer besonderen gewebeartig ausgebildeten Schicht enthalten. Diese für unsere Zeit seltsam und unklar klingende Antwort veranlasste *Melnikoff*[4] 1877 die Verkalkung der Pericarpien von *Celtis australis, Lithospermum officinale* und *Cerinthe major* anatomisch genau zu untersuchen; leider war es auch ihm nicht möglich, diesen Gegenstand endgültig zu erledigen, da er wegen Mangels an jungem Material seiner Untersuchung keine entwicklungsgeschichtliche Grundlage zu geben vermochte. Ich habe diese Lücke ausgefüllt und die Entwicklung der Pericarpien der genannten Pflanzen durch alle Altersstufen hindurch verfolgt und werde in Folgendem die *Melnikoff*'schen Resultate in mehreren Punkten ergänzen.

Was zunächst *Lithospermum officinale* anlangt, so konnte ich nachweisen, dass sämmtliche Zellen eine netzförmige Verdickungsmasse besitzen, sowohl die Palissadenzellen als die darunter liegenden isodiametrischen Zellen; bei letzteren ist die Verdickung der Membran sehr stark, so dass nur ein relativ kleines Lumen übrig bleibt. Die Tüpfel sind in den Palissadenzellen weiter als in den darunter liegenden Zellen. Diese netzförmige sekundäre Verdickungsmasse ist nun intensiv mit Kalkcarbonat incrustirt, im Innern der Zellen dieses Salz nachzuweisen ist sehr schwer, doch hat es den Anschein, als sei der körnige Inhalt ebenfalls kalkcarbonat-haltig. Von einer tertiären Schicht, die sich nach Säure-Einwirkung in Form von Lamellen oder Membranen (!), die in bogenförmigen Figuren im Innern der Zelle aneinanderstossen, von der Zellwand abhebt, habe ich Nichts bemerken können; die bogenförmigen Figuren *Melnikoff's* sind die inneren Umrisse der sekundären Verdickungsmasse, wie Fig. 16 a Taf. III veranschaulicht. Chlorzinkjod macht den kohlensauren Kalk verschwinden und färbt die zurückbleibende Cellulose blau. Bei *Lithospermum*

---

[1] *De Candolle, P.* Physiol. végét. T. I. p. 382.

[2] *Treviranus.* Physiologie der Gew. Bd. II. 1838. p. 101.

[3] *Payen.* Mem. pres. p. div. savants. T. 20 1849. p. 530 und T. 22. 1850. Pl. 16 Fig. 11. 12. — Ann. d. Chim. T. 41 1854. p. 167

[4] *Melnikoff, P.* Untersuchungen über das Vorkommen des kohlensauren Kalkes in Pflanzen. Bonn 1877. p. 51 ff.

arvense liegen die Verhältnisse genau ebenso; Fig. 16 b stellt drei Zellen unter der Palissadenschicht mit verschieden intensiver Netzverdickung im Längsschnitt und in der Ansicht dar.

Die Pericarpien der *Celtis*-Früchte sind ebenfalls theilweise durch Verkalkung steinhart geworden; während aber bei *Lithospermum* das Exocarp Calciumcarbonat in Menge enthält, so dass die ganze Frucht ein porzellanartiges Aussehen erhält, sind es bei *Celtis* die innersten Zellschichten des Pericarps, also das Endocarp, welches in eine schneeweise steinharte Masse sich umwandelt. Der Vorgang der Verkalkung ist hier derselbe wie bei *Lithospermum*. In den Zellen des Endokarps bildet sich eine netzartige sekundäre Verdickungsmasse aus, die um so mächtiger wird, je weiter die betreffende Zelle nach Innen gelegen ist. Da nun die Grösse der Zellen nach Innen zu mehr und mehr abnimmt, ist die direkte Folge, dass bei den dem Samen zugewandten Zellen das Lumen beinahe verschwunden ist. Das hat auch *Melnikoff* gesehen, denn er sagt p. 53: „In den meisten Fällen habe ich sogar keine Andeutung davon gefunden, dass irgend eine Höhlung in der Mitte der Zelle vorhanden sei, welche als Zelllumen dieser Schicht gegenüber betrachtet werden könnte.“ *Melnikoff* spricht sodann von einer Füllmasse, bestehend aus lockerer Grundsubstanz und Krystallen kohlensauren Kalks, an der man erst nach Zusatz von Säure eine gewisse Beziehung zur Mitte der Zelle wahrnehmen könne, indem alle Risse dieser Substanz strahlenförmig geordnet seien und sich nach einer unregelmässigen, je nach der Richtung, in welcher die Zelle durchschnitten sei, kürzeren oder längeren Spalte hin richteten, welche Spalte sich sehr bald nach dem Säurezusatz gebildet habe. Es liegt, wie meine Präparate auf's deutlichste darlegen, hier eine ganze Reihe von zusammenhängenden Irrthümern vor. Jene Spalte, die sich auf Säurezusatz bilden soll, ist Nichts als der Contour des Lumens, der nach Entfernung des Kalkcarbonats mehr hervortritt; die strahlenförmig geordneten auf die „Spalte“ zulaufenden „Risse“ sind die engen Tüpfelporen und die Krystalle von kohlensaurem Kalk sind Bruchstücke der durch die zahlreichen Tüpfel in prismatische Stücke leicht zerfallenden durch die Incrustation ziemlich spröde gewordenen Verdickungsmasse. Da die Lumina der in Rede stehenden Zellen ausserordentlich reducirt sind, kann von einem irgend wie beträchtlichen Inhalt nicht gesprochen werden; ob derselbe kohlensauren Kalk in Krystallen führt, ist schwer nachzuweisen,

jedenfalls beruht die Härte und das charakteristische Aussehen des Endocarps in erster Linie auf der intensiven Einlagerung des Carbonats in die netzförmige Verdickungsmasse und es ist falsch, wenn *Melnikoff* sagt „findet eine solche Imprägnirung (der Zellwand) statt, so kann sie nur sehr unbeträchtlich sein, denn", so fährt dieser Forscher fort, „die dichte homogene, glänzende Substanz ihrer Cellulose beweist es schon durch ihr äusseres Aussehen". Es ist merkwürdig, dass *Melnikoff* bei seinen Untersuchungen verkalkter Pflanzentheile nicht Cellulose entgegen getreten ist, die dicht, homogen, glänzend ist und doch grosse Mengen kohlensauren Kalkes enthält; gerade der Glanz, wohl besser das Lichtbrechungsvermögen, wird durch Incrustation mit Kalkcarbonat immer gesteigert, vorausgesetzt, dass das Salz nicht in Form von Körnchen oder sichtbaren Krystallen in die Membran eingelagert ist, sondern in wesentlich feinerer Vertheilung. Verkalkte Trichome, die Zellen zahlreicher Kalkalgen, Cystolithen etc. sind empfehlenswerthe Beispiele für ein solches Auftreten des kohlensauren Kalkes in der Cellulosemembran. Lässt man Chlorzinkjod auf einen dünnen Schnitt durch das Endocarp von *Celtis* einwirken, so verschwindet der kohlensaure Kalk allmählig aus den Wandungen und die Cellulose bläut sich; die betreffenden Zellen ähneln den in Fig. 16 a und b von *Lithospermum officinale* und *arvense* abgebildeten so sehr, dass ich es unterlasse, eine Zeichnung von ihnen zu geben. Meine Untersuchungen habe ich an Pericarpien von *Celtis australis Willd.* und *Celtis crassifolia Lam.* angestellt.

Wesentlich anders steht es mit der Verkalkung der Aussenschichten des Pericarps von *Cerinthe major;* hier gehört der kohlensaure Kalk ausschliesslich dem Inhalt an, der aus einer körnigen Grundmasse besteht, in welche grössere Krystalle von Calciumcarbonat eingebettet sind, wie es die Fig. 14 und 15 Taf. III veranschaulichen. Fig. 15 stellt eine Zelle des Exocarps zwischen gekreuzten Nicols des Polarisationsmikroskopes dar und lässt erkennen, wie der ganze Inhalt der Zelle stark aufleuchtet, während die kalkfreien, gebräunten Membranen (Fig. 14) dunkel bleiben. Wir haben es hier gleichsam mit einem versteinerten Plasma zu thun, denn der Zellinhalt, der in der Jugend noch Zellkern und Chlorophyllkörner aufweist, ist im Alter in toto erhärtet und besteht im Wesentlichen aus Kalkcarbonat; er lässt sich aus der Membran heraus nehmen und leuchtet im Polarisationsmikroskop im buntesten Farbenschimmer auf. Es sind diese Verkalkungs-

erscheinungen Analoga zu den Kieselbildungen der *Palmen* und *Podostemaceen*, die ich weiter unten ausführlich beschreiben werde.

Ich kann demnach dem Satze *Melnikoff's* „wir haben also in allen drei Fällen dieselbe Erscheinung und es lässt sich wohl denken, dass diese Form der Ablagerung des kohlensauren Kalkes für Pericarpien überhaupt die typische ist" nicht beistimmen. Mögen auch *Lithospermum* und *Celtis* geringe Mengen kohlensauren Kalkes im Zellinhalt führen, was ich nicht mit definitiver Sicherheit zu behaupten, aber auch nicht ganz in Abrede zu stellen wage, so ist doch sicher, dass bei diesen Pflanzen der weitaus grösste Theil des Calciumcarbonats innerhalb der Membran bestimmter Zellen des Pericarps deponirt ist, während bei *Cerinthe major* die Membranen sicher frei von Kalkcarbonat sind und die Gesammtheit dieses Salzes dem Zellinhalt angehört.

Wie die Pericarpien sind nicht selten auch Samen in ihren äusseren Gewebepartien stark mit kohlensaurem Kalk incrustirt, und zwar sind dann meist die Membranen mit dieser Substanz imprägnirt, seltener führt der Zellinhalt das Salz. Ich nenne als Beispiel die Schalen der Samen von *Aleurites triloba Forst.*[1]

Leitgeb[2] fand kohlensauren Kalk krystallinisch oder in Körnern und Klumpen in den Zellen der Stränge von *Blasia pusilla* oft in so grossen Massen, dass mehrere Zellen hintereinander damit ganz erfüllt waren.

Einige Aehnlichkeit mit diesem Vorkommen hat das von *Molisch*[3] constatirte im Kernholz und im Splinte einiger Dicotyledonen, bei denen auch ganze Zellen und Zellfusionen nach und nach mit krystallinischem kohlensauren Kalk sich anfüllen können. Bei einer grossen Zahl von Bäumen kommt es nämlich vor, dass im Kernholz und an den Stellen des Splintes, welche dem Kernholz analoge Beschaffenheit besitzen, die Gefässe Tracheiden, Libriformfasern, Parenchym- und Markstrahlzellen sich mit Kalkcarbonat von krystallinischer Structur anfüllen; auch im Mark kann man nicht selten dieselbe Erscheinung beobachten. Das Calciumcarbonat lagert sich zuerst als dünne Schicht auf den Zellinnenwänden

---

[1] *Wichmann, H.* Anatomie des Samens von *Aleurites triloba Forst.* (Verh. d. zool.-bot. Ges. in Wien. 1879. p. 411.)

[2] *Leitgeb, A.* Untersuchungen über Lebermoose, H. 1. p. 30.

[3] *Molisch, H.* Ueber die Ablagerungen von kohlensaurem Kalk im Stamme dikotyler Holzgewächse. (Sitzber. der Wien. Akad. Bd. 84. p. 7.) — *Bidie.* Calcareous concretions in Timbers. (Nature. 1880. p. 169.)

ab, die dicker wird, bis allmählig das Lumen der Zelle sich vollständig erfüllt. Es ist wahrscheinlich, dass Temperaturerhöhung den Kohlensäuregehalt des langsam im Kernholz aufsteigenden kalkhaltigen Bodenwassers vermindert, so dass dasselbe von seiner Kalkcarbonat lösenden Kraft einbüsst und dasselbe ausscheidet. Die Pflanzen, an denen diese Art der Ablagerung von kohlensaurem Kalk beobachtet wurde, sind: *Ulmus campestris, montana, Celtis orientalis, occidentalis, Sorbus torminalis, Pirus microcarpus, Fagus sylvatica, Acer rubrum, illyricum, Pseudoplatanus, campestre, Negundo, Cornus mas, sanguinea, Zygophyllum arboreum, Populus alba, Salix amygdalina, Betula alba.*

Auch in den Tracheen von *Anona laevigata Mart.* hat *Molisch*[1] geschichtete Massen von krystallinischem Kalkcarbonat gefunden.

Die Pflanzen, welche nach *Molisch*[2] Kalkcarbonat in Gefässen und anderen Elementen des Kernholzes ablagern, enthalten auch in ihren Thyllen dieses Salz.

Nach *Gravis*[3] liegen in den Parenchymzellen der Cotyledonen von *Urtica dioica L.* neben Chlorophyll kleine weisse rundliche Körnchen von kohlensaurem Kalk, die sich auf Zusatz von Essigsäure momentan lösen.

Wozu die eigenthümlichen, schon im vorigen Jahrhundert vom holländischen Botaniker *Rumphius* erwähnten, gegen die Mitte dieses Jahrhunderts von *Treviranus*[4] ausführlicher beschriebenen Concremente von Kalkcarbonat in dem flüssigen Sameneiweiss der Kokospalme zu rechnen sind, ist schwer zu entscheiden, da man nicht ohne entwicklungsgeschichtliche Untersuchung, zu der man das erforderliche Material schwer erhalten würde, den Ort der ersten Entstehung dieser Gebilde bestimmen kann. Die sogenannten Kokosnussperlen sind kugel- oder birnförmige Aus-

---

[1] *Molisch, H.* Vergleichende Anatomie des Holzes der Ebenaceen und ihrer Verwandten. (Sitzber. d. K. Akad. d. Wiss. in Wien. LXXX Bd. I. Abth. Juliheft. Jahrg. 1879.)

[2] *Molisch, H.* Zur Kenntniss der Thyllen, nebst Beobachtungen über Wundheilung in der Pflanze. (Sitzber. d. K. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-n Cl. Bd. XCVII. Abth. I. Juni 1888.) p. 12 ff.

[3] *Gravis, A.* Recherches anatomiques sur les organes végétatifs de l'Urtica dioica L. (Extr. des mémoires couronnés et des mém. des sav. étrang. publ. par l'Acad. royale de Belgique. T. XLVII. 1884. Bruxelles 1885.)

[4] *Treviranus,* Physiol. d. Gew. 1838. Bd. II. p. 101.

scheidungen von fast reinem kohlensaurem Kalk, die hin und wieder Kirschengrösse erreichen. Sie stehen den gewöhnlichen Perlen in Bezug auf Glätte, Weisse und Glanz wenig nach, sind aber bedeutend härter, daher bei den Eingeborenen als Krankheiten und böse Geister vertreibender Schmuck hochgeschätzt. Auch im Stamme der Kokospalme sollen sie gefunden werden.

III. KALKCARBONAT IN DER MEMBRAN.

a. Cystolithen.

Grosse Mengen kohlensauren Kalkes sind bei vielen Pflanzen in den Cystolithen abgelagert. Aus einer kurzen Darstellung der Entwicklung unserer Kenntniss über die Gebilde wird am besten klar, was wir darunter verstehen.

Im Blatt von *Picus elastica*, und zwar im Innern grosser Epidermiszellen der ausgewachsenen Blätter, entdeckte *Meyen*[1] zuerst an keulenförmigen Stielen aufgehängte Drusen, während er in jungen Blättern an denselben Stellen nur spindelförmige, am unteren Ende keulig angeschwollene Körper beobachten konnte. Da er diese Gebilde als aus gummiartigen Stoffen bestehend betrachtete, nannte er sie „Gummikeulen“. *Payen*[2], welcher sich zuerst eingehend mit dem Studium der mineralischen Incrustationen in Pflanzen beschäftigte und die Ergebnisse seines Fleisses in einer besonderen Schrift der französischen Akademie vorlegte, widerlegte die Ansichten *Meyen's*, indem er dessen Gummikeulen für einfache Auswüchse der Zellwandungen erklärte, welche an ihren meist verdickten Enden zahlreiche mit kohlensaurem Kalk erfüllte Zellen tragen. Bei vorgenommener Einäscherung und Behandlung mit Säure verbleibende Rückstände liessen ihn auf die Gegenwart von Kieselsäure neben dem Kalkcarbonat schliessen. Am meisten näherte sich später *Schacht*[3] in seinen Ansichten über die in Rede stehenden Gebilde der Wahrheit; er nannte dieselben zuerst „Traubenkörper“, wegen ihrer oft traubigen Form, und erklärte sie bereits als mit Kalkcarbonat incrustirte Celluloseschichtungen. *Schacht* unterzog die Trauben-

[1] *Meyen.* J. B. Müller's Archiv. 1839. p. 255.
[2] *Payen.* .Mém. pres. par div. Savants. 9. p. 85.
[3] *Schacht.* Abhandlungen der Senkenbergischen Ges. I. p. 133.

körper vieler *Urticaceen* und die von *Gottsche* bei den *Acanthaceen* entdeckten einer sorgfältigen Untersuchung, entdeckte solche bei einigen Arten von *Justicia, Ruellia* und *Beloperone*, sowie bei *Barleria alba* und machte die werthvolle Beobachtung, dass, während die Traubenkörper bei den *Urticaceen* meist nur der Epidermis angehören, sie bei *Justicia subincana* und *sanguinea* auch im Mark- und Rindenparenchym auftreten, ja sogar nur in subepidermalen Geweben. *Justicia purpurascens* und *Acanthus mollis* erkannte *Schacht* als frei von Traubenkörpern. Für *Ficus australis* und *elastica* giebt er bereits eine kurze Entwicklungsgeschichte, was ihm bei den *Acanthaceen* nicht gelang, da er die ersten Entwicklungsstufen bei diesen nicht aufzufinden vermochte.

Wedel[1], der die *Schacht*'schen Untersuchungen fortsetzte und ergänzte, taufte die Traubenkörper *Cystolithen;* er erkannte ihren Werth als systematisches Bestimmungsmittel zunächst bei den *Urticaceen*, da sich für bestimmte Tribus und Gattungen dieser Familie gewisse Formen der Cystolithen als charakteristisch und constant erwiesen.

In seinen „Grundzügen" (3. Auflage) fügte auch *Schleiden*[2] dem bis dahin Bekannten einige Beobachtungen zu und äusserte sich über die morphologische Bedeutung der Cystolithen.

Die Entwicklung der Cystolithen von *Ficus elastica* gab zuerst in meisterhafter Klarheit *de Bary*[3]. Da in der Hauptsache der Entwicklung der meisten Cystolithen derjenigen der *Ficus elastica*-Cystolithen analog verläuft, gebe ich nach *de Bary* in Kürze die Letztere hier wieder.

Einzelne Zellen der in frühester Jugend aus einer einfachen Lage gestreckt-prismatischer Zellen bestehenden Epidermis der Blattoberseite verdicken ihre Aussenwand um das 4—6 fache der übrigen, bleiben ungetheilt, während alle anderen sich fortgesetzt zur Bildung der 3—4 schichtigen Epidermis theilen, und wachsen zu sich tief in das subepidermale Parenchym eindrängenden Blasen herein. Gleichzeitig wächst von der Mitte der verdickten Aussenwand senkrecht in den Innenraum hinein ein bald unten kolbig anschwellender Cellulosezapfen, dessen unteres Ende nach und nach Ei- oder Kugelgestalt annimmt, sich mit stumpfen oder spitzen

[1] *Wedell.* Ann. des sciences nat. IV. Sér. II. p. 267.

[2] *Schleiden.* Grundzüge. 3. Auflage. p. 341.

[3] *de Bary.* Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane. 1877. p. 110.

Warzen bedeckt und nun einen Cystolithen darstellt. Derselbe füllt im fertigen Zustand die Trägerzelle meist ganz oder zum grössten Theil aus und imprägnirt sich gewöhnlich mit kohlensaurem Kalk, zum Theil auch mit Kieselsäure, weshalb man nach Einäscherung und nachfolgender Behandlung mit Salzsäure ein Kieselskelett erhält, wie es Fig. 11 Taf. IV darstellt. In der Ansicht, aber vor allem auf Durchschnitten zeigt der Cystolith äusserst feine Schichtung, die ganz besonders deutlich nach später anzugebender Behandlung hervortritt; ausserdem ein System feiner vom Stiel-Anheftungspunkt ausstrahlender stark lichtbrechender, oftmals verzweigter Fasern, welche in den Spitzen der zitzenartigen Protuberanzen enden.

Das hier für die Cystolithen von *Ficus elastica* Gesagte gilt mutatis mutandis auch für andere Cystolithen, doch kommen alle denkbaren unwesentlichen Abweichungen vor. Stiel und eigentlicher Cystolithenkörper variiren ausserordentlich in ihrer Form, ihrem innerem Bau und ihrer chemischen Zusammensetzung. Nur einige Variationen seien hier erwähnt, da die genauere Beschreibung derselben im speciellen Theile folgt.

Der Stiel ist bei den *Moraceen* meist dick, bei den *Acanthaceen* und *Urticaceen* in der Regel ausnehmend dünn und fadenförmig. Bei den *Cannabineen* und *Cucurbitaceen* setzt sich häufig der Cystolith mit so breiter Basis der Trägerzellenwandung an, dass von einem eigentlichen Stiel nicht mehr gesprochen werden kann.

Die Form des eigentlichen Cystolithenkörpers, ich werde ihn kurz Kopf nennen, ist in höchstem Grade variabel und zeigt zwischen der reinen Kugelform und der langen, beiderseits zugespitzten Spindelform alle denkbaren Zwischenstufen; auch die nach aussen vorspringenden Warzen sind in ihrer Gestalt wechselnd und charakteristisch. In Bezug auf den inneren Bau der Cystolithen sind es besonders Schichtenbildung, Art der Anfügung des Kopfes an den Stiel, ferner Entwicklung des Radialfasersystems, welche mannigfachen Verschiedenheiten unterworfen sind. Bezüglich dieser zuletzt genannten Radialfasern, die ich für dichte kalkfreie oder kalkarme Cellulosefäden anspreche, sei gleich hier bemerkt, dass ich sie als solche auch bei den *Acanthaceen* erkannt habe, bei denen sie *Richter*[1] für Längsrisse hält. Bei dem

[1] *Richter*, C. Beiträge zur genaueren Kenntniss der Cystolithen und einiger verwandten Bildungen im Pflanzenreich. (Sitzber. d. Wien. Akad. 76. Bd. I. Abth. 1877.)

Cystolithen von *Eranthemum nervosum Vahl.* z. B., den ich in Fig. 12 Taf. IV abgebildet habe, färbten sich diese Radialfasern wie bei den *Ficus*-Cystolithen auf Zusatz von Chlorzinkjod intensiv blau, was nicht der Fall sein könnte, wenn die *Richter*'sche Annahme stichhaltig wäre.

Die chemische Zusammensetzung der Cystolithen ist nicht weniger wechselnd als ihre äussere Gestalt. Man kennt jetzt, wie aus den unten folgenden Einzelbeschreibungen hervorgeht, neben den typischen Kalkcarbonat haltigen Cystolithen auch kalkfreie nur aus Cellulose bestehende, andere grösstentheils aus Kieselsäure aufgebaute, endlich solche, die Kalkcarbonat und Kieselsäure gleichzeitig in einer modificirten, in ihren Reactionen von der gewöhnlichen abweichenden Cellulose enthalten. Was die kalkfreien Cystolithen betrifft, so beschränkt sich ihr Vorkommen nach unseren bisherigen Kenntnissen auf wenige Fälle. Im Mark der Internodien von *Goldfussia isophylla Nees., G. glomerata Nees.* und *Ruellia ochroleuca* fand *Molisch*[1] innerhalb dickwandig polyëdrisch oder cylindrisch gestalteter Sklerenchymzellen spiessähnliche oft mehrfach gestielte Cystolithen, entweder einen einzigen in jeder Zelle oder mehrere so in übereinanderliegenden Zellen placirt, dass sie, die Querwände perforirend, zusammenstossen und miteinander verschmelzen. Bei näherer Prüfung erwiesen sich diese Gebilde als kalkfrei. Aehnliche cystolithenartige, kalkfreie ungestielte Wandverdickungen beobachtete *Hartwich* in dem parenchymatischen Gewebe der aleppischen Gallen. Endlich lassen auch die ächten Cystolithen einige *Combretaceen*, wie im speciellen Theil erwähnt ist, Kalkmangel erkennen.

Bei *Ficus Sycomorus* finden sich, wenn auch selten, ganz aus Kieselsäure bestehende Cystolithen[2]. Die Cystolithen von *Ficus- Pilea-* und *Urtica*-Arten sind häufig von einer feinen Kieselhaut umgeben, welche nach Herstellung des Skeletts, zuweilen mit dem Stiel und der Aussenwand der Zelle, die ebenfalls verkieselt sind, ein zusammenhängendes Ganzes bilden, doch kann diese Kieselhülle auch fehlen und die Kieseleinlagerung sich auf den Stiel und die Membran der Tragzelle beschränken. Die Cystolithen vieler *Cucurbitaceen* sind vollkommen kieselfrei.

---

[1] *Molisch, Hans.* Ueber kalkfreie Cystolithen. (Oesterr. bot. Zeitschr. XXXII. 1882. No. 11. p. 245—47.)

[2] *Miliarakis, S.* Die Verkieselung lebender Elementarorgane bei den Pflanzen. Würzburg. In.-Diss. 1884. p. 28.

Ruellia picta enthält verholzte Cystolithen. Merkwürdig und bisher noch unaufgeklärt sind die eigenthümlichen Färbungen, welche die Cystolithen einzelner Pflanzen von Natur oder nach Entwicklung von Reagentien besitzen. *Goldfussia anisophylla* und *Sanchezia glaucophylla* haben grüne Cystolithen, welche bei Säurezusatz roth werden. Bei *Ficus elastica* bewirkt Essigsäure nach längerer Zeit das Hervortreten grüner Partien im Innern, welche durch Alkali-Zusatz eine gelbe Färbung annehmen.

Endlich ist der Ort des Auftretens und der Zeitpunkt sowohl als die Zeitdauer der Ausbildung der Cystolithen variabel. Oft kommen die Cystolithen nur in der Epidermis, oft nur in subepidermalen Geweben, mitunter in beiden gleichzeitig vor; viele Blätter besitzen diese Gebilde auf beiden Seiten, andere nur auf einer u. s. f. Nur das Xylem scheint von allen Gewebetheilen niemals Cystolithen auszubilden. Bei den *Moraceen* z. B. wachsen die Cystolithen relativ langsam heran, bei den *Acanthaceen* sind sie schon in ganz jugendlichen Organen fertig ausgebildet. Mitunter geht der Aufbau der tangentialen Schichten und die Kalkeinlagerung langsam vor sich und es ereignet sich dann nicht selten, dass sich die Radialfasern weiter entwickeln nach allen Seiten, ohne dass sich beträchtliche Mengen von Cellulose- und Kalkschichten zwischen dieselben lagern; es kommt dann zur Entwicklung von Formen, wie ich unter Fig. 53 III Taf. IV dargestellt habe, welche durch spätere Einfügung von Cellulosekalk-Masse zu normalen Cystolithen werden können.

Im Mark von *Fittonia Verschaffeltii* und *argyroneura* hat *Richter*[1] ähnliche von der gewöhnlichen Gestalt weit abweichende, hirschgeweihartig gabelige und schneckenförmig gekrümmte Cystolithen entdeckt, die möglicher Weise genetisch mit den ebenerwähnten Anomalien bei *Ficus elastica* Aehnlichkeit haben.

b. Optisches Verhalten der Cystolithen.

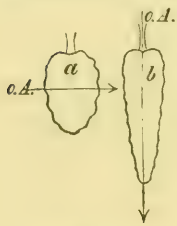
Das Kalkcarbonat, wo es vorhanden ist, lagert sich stets in krystallinischer Form ein, denn in geeigneter Lage leuchten die Cystolithen zwischen gekreuzten Nicols stets auf. *Sachs*[2] sagt

---

[1] *Richter.* l. c.

[2] *Sachs, J. v.* Lehrbuch. IV. Aufl. p. 69.

daher mit Unrecht, die Cystolithen polarisiren das Licht nicht, der kohlensaure Kalk kann daher nicht in krystallinischer Form abgelagert sein.“ *Strasburger*[1] bezeichnet die Cystolithen als negativ doppeltberechend. *Kny*,[2] *Richter*[3] und *Melnikoff*[4] fanden die Cystolithen ebenfalls doppeltlichtbrechend. Woher dieser Widerspruch? Er erklärt sich einfach aus dem verschiedenen Verhalten der Cystolithen in verschiedenen Pflanzen gegen in bestimmter Richtung auffallendes polarisirtes Licht. In Blattquerschnitten von *Ficus elastica* leuchten die Cystolithen nicht auf, wohl aber 4 mal bei einer Drehung um 390° im Flächenschnitt durch das Blatt dieser Pflanze. Ein mit seiner Längsachse parallel dem Gesichtsfeld liegender Cystolith von *Ficus elastica* leuchtet also in keiner Stellung auf, wohl aber ein mit seiner Längsachse rechtwinklig auf dem Gesichtsfeld stehender. Bei *Ruellia formosa* und anderen *Acanthaceen* ist das Verhalten der Cystolithen genau entgegengesetzt; ein in der ersten Stellung sich befindender Cystolith leuchtet zwischen gekreuzten Nicols bei Drehung um 390° 4 mal auf, in der zweiten Stellung bleibt er constant dunkel. Daraus folgt, dass die optische Hauptsache bei dem *Ficus*-Cystolithen rechtwinklig zur Längsachse des letzteren liegt, (a) beim *Ruellia*-Cystolithen aber in die Längsachse fällt (b).



‘Der Cystolith von *Ficus* ist mir auf Blattquerschnitten allerdings nicht immer ganz dunkel erschienen, insofern die kleinen mammillenähnlichen Protuberanzen, wenn sie mehr oder weniger rechtwinklig auf dem Gesichtsfeld stehen, ein Wenig sich aufhellen. Auch in diesen Vorsprüngen ist das Kalkcarbonat so angeordnet wie im ganzen Cystolithen. Dass es freilich Cystolithen geben wird, welche im Polarisationsmikroskop sich indifferent erweisen, ist nicht zu verwundern, da wir kalkfreie und kalkarme Cysto-

---

[1] *Strasburger*. Bau und Wachsthum der Zellhäute. 1882.

[2] *Kny*. Wandtafeln zur Pflanzenkunde. Zweite Abth. Berlin, 1876. Taf. XI und Erklärung.

[3] *Richter*, *C.* Beiträge zur genaueren Kenntniss der Cystolithen und einiger verwandter Bildungen im Pflanzenreich. (Sitzber. der Wien. Akad. Bd. 76. Juli 1877.)

[4] *Melnikoff*, *P.* Untersuchungen über das Vorkommen des kohlensauren Kalkes in Pflanzen. Inaug.-Diss. Bonn 1877.

lithen kennen. So sah ich Cystolithen von *Boehmeria tenacissima* zwischen gekreuzten Nicols schwach oder auch gar nicht aufleuchten; die mikrochemische Untersuchung lehrte dann aber, dass dieselben sehr arm oder ganz frei von Kalkcarbonat waren, sodass bei Behandlung mit Salzsäure nicht einmal Gasentwicklung eintrat, wenn auch Schwefelsäure noch eine kümmerliche Gypsnadelbildung einleitete.

Bezüglich des Kalkgehalts der Cystolithen im Allgemeinen muss ich nochmals bemerken, dass ich nicht immer die Consistenz der zurückbleibenden Cellulose von Innen nach Aussen habe abnehmen sehen, und es keine allgemeine Gültigkeit beanspruchen kann, wenn *Sachs*[1] behauptet, dass die Grundmasse der Cystolithen nach Aussen endlich so locker wird, dass sie überhaupt keine Struktur mehr erkennen lässt, weder Schichtung noch Streifung. Die Fig. 2 und 3 Taf. IV zeigen deutlich, dass die Cystolithen von *Ficus elastica* bis an den äussersten Rand geschichtet sind, die Cystolithen mehrerer *Acanthaceen*, bei denen die Schichtung mitunter sehr zurücktritt, liefern zahlreiche Beispiele dafür, dass der Cellulosegehalt nahezu oder vollständig überall gleich ist; denn die oft nur eben sichtbare Abschwächung des violetten Tones nach dem Zusatz von Chlorzinkjod ist ja durch die Form des Cystolithen geboten. Fig. 12 Taf. IV stellt einen Cystolithen der Stengelepidermis von *Eranthemum nervosum Vahl.* nach Behandlung mit verdünnter Salzsäure und Chlorzinkjod dar. Da reicht die Schichtung bis zum äussersten Rand und die Violettfärbung ist überall gleich intensiv. Analog fand ich die Verhältnisse bei anderen *Acanthaceen* z. B. *Cyrtanthera magnifica Nees.*, *Gendarussa vulgaris Nees.* etc. Die Cystolithen von *Ficus elastica* und manchen anderen Pflanzen besitzen also die nicht jedem Cystolithen zukommende Eigenthümlichkeit der Abnahme des Cellulosegehaltes nach Aussen. Auflagerungen von Kalkcarbonat auf den Cystolithen, die sich in Säure ohne Rückstand lösen, wie sie *Richter*[2] bei *Acanthaceen* gesehen hat, konnte ich nirgends beobachten.

Ich bemerke hierzu noch, dass man, will man sich ein richtiges Bild von der quantitativen Vertheilung von Cellulose und Kalkcarbonat machen, nicht ganze Cystolithen oder Längsschnitte

---

[1] *Sachs, J. v.* l. c.
[2] *Richter*, l. c.

von solchen benutzen darf, denn diese werden immer in der centralen Partie eine dunklere Violettfärbung nach Behandlung mit Chlorzinkjod zeigen. Es würde aber voreilig sein, daraus eine Abnahme der Cellulose nach dem Rande zu abzuleiten, denn am Rand hat man in Folge der Form des Cystolithen eine dünnere Schicht vor sich als in der Mitte. Eine der Wirklichkeit entsprechende Vorstellung erhält man nur, wenn man die Beobachtungen an Querschnitten anstellt, am besten an Querscheiben aus den Cystolithen, deren Herstellung keine Schwierigkeiten bereitet. Behandelt man solche Scheiben, die ich besonders schön aus den Stammcystolithen der *Acanthaceen* anfertigen konnte, mit Chlorzinkjod, so ist die Violettfärbung in der Mitte nicht intensiver als am Rande. Abgesehen von der Schichtung, die auf wechselndem Cellulose- (resp. Kalkcarbonat-)Reichthum der einzelnen Schichten beruht, bleibt der Gehalt an Cellulose bei den *Acanthaceen*-Cystolithen von Innen nach Aussen constant.

Die Kalkeinlagerung geht periodisch vor sich, mitunter intensiver, mitunter schwächer, daher das sehr verschiedene Lichtbrechungsvermögen der einzelnen Schichten und das Hervortreten dichterer und weniger dichter Schichtencomplexe, die einige Aehnlichkeit mit den Jahresringen der Dikotylen-Stämme haben. Entweder wechseln mit Kalk incrustirte Schichten mit kalkfreien ab, oder kalkreichere Celluloseschichten mit kalkärmeren; unwahrscheinlich erscheint es mir, dass reine Kalkcarbonatschichten mit reinen Celluloseschichten alterniren, weil dann durch Behandlung mit Salzsäure feine Spalten entstehen müssten, was nicht der Fall ist.[1] Ausserordentlich schöne und instruktive Präparate erhielt ich, wenn ich Blattstücke von Cystolithen-Pflanzen in verdünnter Salzsäure längere Zeit liegen liess, sodass die Lösung des Kalkcarbonats sehr langsam von Statten ging. Fig. 1, Taf. IV stellt einen so präparirten Cystolithen von *Ficus elastica* dar. Die etwas excentrischen und nach Aussen zu stark gewellten Schichtungen sind bis an den äussersten Contour des Cystolithen deutlich sichtbar, wodurch die Bemerkung *Sachs's*, die äussere besonders kalkreiche Partie des Körpers sei gar nicht geschichtet, hinfällig wird. Die bereits erwähnte, den *Ficus*-Cystolithen ganz besonders eigenthümliche Zunahme des Kalkcarbonats und Abnahme der Cellulose von Innen nach Aussen fällt besonders in die Augen, wenn man

[1] *Melnikoff.* l. c. p. 39.

auf die angegebene Weise gewonnene, langsam entkalkte Präparate mit Chlorzinkjod behandelt. Fig. 2 u. 3, Taf. IV stellt ein Paar dieser Behandlung unterworfener Cystolithen von *Ficus elastica* dar.

Ausser der tangentialen Schichtung erkennt man meist eine mehr oder weniger deutliche Radialstreifung, durch welche, da sie sich auf allen Schnitten, Quer- und Längsschnitten, zeigt, die ganze Masse der Schicht in lauter Stäbchen zerfällt. Die Streifung ist nicht zu beobachten, so lange der Cystolith Kalkcarbonat enthält, sondern tritt erst hervor nach dem Entfernen des letzteren. Es wird der Eindruck erweckt, als ob der kohlensaure Kalk feine Radialrisse ausfülle, welche, durch den Einfluss der Säure geleert, die Structur deutlich machen. Die Streifung ist allen Schichten eigen, nur das kopfig angeschwollene Ende des Stiels entbehrt derselben.

MORACEEN.

Von den *Moraceen* kommen folgende Gattungen in Betracht, deren Arten constant Cystolithen aufweisen: *Ficus, Morus Broussonetia, Maclura.* Die Cystolithen fehlen der Gattung *Dorstenia.*

A. Cystolithen nur an der Oberseite der Blätter:

α. länglich rund bis eiförmig	*β.* kuglig
Ficus leonensis.	*Ficus cerasifera.*
Ficus Benjaminium.	*Morus nigra, alba, rubra.*

B. Cystolithen an der Unterseite der Blätter:

Ficus Cooperi, *Ficus Carica* } Cystolithen rund

(rudimentäre Cystolithen an der Blattoberseite).

C. Cystolithen sowohl an der Ober- als Unterseite der Blätter:

Ficus religiosa länglich an der Unterseite, rund an der Oberseite.

Ficus elastica länglich an der Oberseite.

Die Cystolithen von *Broussonetia* und *Maclura* habe ich nicht untersucht.

Die Cystolithen von *Ficus elastica* haben bereits im allgemeinen Theile (p. 116) eine eingehende Würdigung gefunden, indem dieselben von mir den Betrachtungen über Entwicklung und Bau der Cystolithen überhaupt zu Grunde gelegt wurden. Ich habe dem dort Gesagten nur etwa noch zuzufügen, dass *Ficus*

elastica die meisten Cystolithen an der Oberseite des Blattes trägt. Andere *Ficus*-Arten besitzen Cystolithen, die in Form, Grösse und Ort ihres Auftretens mehr oder weniger abweichen. So sind die Cystolithen von *Ficus Cooperi,* die sich hauptsächlich auf der Unterseite der Blätter ausbilden, kuglig und auffallend kurzgestielt; der Stiel ist dick, die Warzen sind flach und breit, wie Fig. 13 Taf. IV wiedergiebt. b ist ein vollkommen ausgebildeter Cystolith nach Behandlung mit Chlorzinkjod. Ein Fussstück f nimmt eine gelbliche Färbung an, der Kern wird tief violett, die Rindenschicht nur schwach tingirt. Die Cystolithen von *Ficus Roxburghii* (Fig. 10) haben kuglige Gestalt, sind dünn gestielt, besitzen grosse zitzenartige Protuberanzen wie die von *Fic. elastica* und gehören ausschliesslich der Blattoberseite an.

Ficus religiosa weicht dadurch von den übrigen *Ficus*-Arten wesentlich ab, dass sie in den Zellen der Epidermis der Blattoberseite zahlreiche Cystolithen aufweist, welche ohne ihre Tragzellen zu einem besonders ausgiebigen Wachsthum zu veranlassen, wie es doch sonst der Fall zu sein pflegt, in den normal grossen Zellen zu vielen nebeneinander liegen. Fig. 23 Taf. IV stellt eine solche Cystolithengruppe im Blattquerschnitt dar, Fig. 21 von der Fläche gesehen; auffallend ist die vollkommene Anpassung der Form des Cystolithen an die der Tragzelle. An der Unterseite der Blätter sind in grösseren Abständen von einander Cystolithen vom Typus des *Ficus elastica* zu sehen; in der Flächenansicht erscheinen die die Tragzelle umgebenden Epidermiszellen vom Stiel des Cystolithen ausstrahlend. Die letztgenannten Cystolithen zeigen in noch hervorragenderem Maasse die Ausbildung vom Centrum aus divergirender verzweigter Cellulosebalken resp. Fäden vergl. Fig. 22 Taf. IV. *Ficus leonensis* steht bezüglich der Cystolithenbildung *Ficus Roxbourghii* am nächsten, insofern ihre Cystolithen ebenfalls ausschliesslich der Blattoberseite angehören, fast kuglig und mit grossen, hier aber rundlichen Warzen besetzt sind. Eine wundervolle Schichtung ist der ganzen Masse des Cystolithen eigen, die besser als irgendwo auch schon ohne jede Präparation erkennbar ist. Die Schichten gruppiren sich immer symmetrisch um die dichten Cellulosefasern. (Fig. 4, Taf. IV.)

Ficus Benjaminium hat Cystolithen, die denen von *Ficus elastica* am meisten ähneln, von ellipsoidischer Form mit rundlichen, nicht stark vorspringenden Warzen; sie liegen nur unter der Oberseite des Blattes und ragen tief in das Palissadenparen-

chym hinein. Der die Stielverlängerung ausmachende centrale Theil des Cystolithen ist auffallend scharf abgesetzt, stark verkieselt und nimmt mit Chlorzinkjod eine bräunliche Färbung an. Die Unterseite des Blattes weist kleine Cystolithen, aber starkwandige Trichome auf. Ein Cystolith der Oberseite ist in Fig. 9, Taf. IV wiedergegeben. c der verkieselte centrale Kern, pp Palissadenparenchym, dessen Chlorophyllgehalt der Einfachheit wegen durch Schraffirung angezeigt ist.

Zwei *Ficus*-Arten haben, was die Cystolithen betrifft, viel Aehnlichkeit, *Ficus Carica* und *Ficus cerasifera* und beide entfernen sich dadurch von allen bisher besprochenen Arten. Bei beiden Arten findet eine deutliche Correlation zwischen Trichom- und Cystolithen-Bildung statt. Dieselben Zellen, welche sich zu Haaren ausstülpen, enthalten die Cystolithen. Je besser nun das Haar entwickelt ist, auf um so tieferer Stufe pflegt der in diesem enthaltene Cystolith zu stehen und umgekehrt unterbleibt bei intensiver Entwicklung des Cystolithen die Haarbildung fast ganz, so dass man wohl ausgebildete Haare mit minimal kleinen Cystolithen neben ganz kurzen Haaren mit grossen Cystolithen antrifft und endlich auch Fälle findet, wo bei Anwesenheit sehr grosser Cystolithen die Haarnatur der betreffenden Tragzelle nur noch durch ein dem Cystolithenstiel gegenüber der Aussenmembran aufsitzendes Cellulosespitzchen verrathen wird. In Fig. 15a—e, Taf. IV habe ich eine Reihe von 5 verschiedenen Ausbildungsweisen der Cystolithenzellen von *Ficus Carica* zur Darstellung gebracht, die das eben Gesagte besser als weitere Worte dem Leser klar machen. Die Gestalt und der innere Bau der Cystolithen dieser *Ficus*-Art geht gleichzeitig aus diesen Abbildungen hervor. Haben nun auch die Cystolithen von *Ficus cerasifera* mit denen von *Ficus Carica* die eben charakterisirte Wechselbeziehung zu ihren Tragzellen gemein, so sind sie doch im Uebrigen so verschieden von diesen, dass ich in Fig. 16a—e, Taf. IV eine Anzahl Cystolithen von *Ficus cerasifera* abgebildet. a ist ein Cystolith von der Seite gesehen. Hier ist von der Trichomnatur der Tragzelle gar Nichts mehr zu errathen. Der Cystolith ist ein unregelmässig knolliges Gebilde an kurzem Stiel o h n e radial ausstrahlende Cellulosefasern, ohne Warzen, mit grober tangentialer Schichtung. b und c sind zwei Cystolithen von oben gesehen, s die Stiele; man sieht deutlich die vollkommen regellose Lappung des ganzen Körpers; d ist eine Tragzelle mit grosser

Trichomspitze, in der der Cystolith nur durch den Celluloseknopf c angedeutet ist, während in e die Cellulose zur Cystolithenbildung gleichsam verwendet wurde, so dass aus dem Celluloseknopf c bei d die dünne Celluloseplatte c′ geworden ist. sp sind in beiden Figuren stark verkieselte Haarspitzen (überzogen von der Cuticula cu), in d stärker entwickelt als in e.

Ficus cordata[1] Thrbg. besitzt Cystolithen ohne eine Spur von Kalkcarbonat, die sich ausserdem nicht wie Cellulose verhalten, sondern mit Jod und Schwefelsäure sich gelb färben. Die Cystolithen von *Ficus Sycomorus* haben eine aussergewöhnliche Neigung zu verkieseln. Tragzellenwand und Stiel sind es immer; dazu ist häufig um den Kopf eine Kieselschale ausgebildet, die nicht selten fest mit dem Stiel verbunden ist. Endlich sind, wenn auch nur selten, Cystolithen ganz aus Kieselsäure bestehend, bei dieser Pflanze gefunden worden.[2]

Morus nigra besitzt stattliche Cystolithen auf der Blattoberseite, deren Tragzellen zwischen das Palissadenparenchym hineinragen. Die Cystolithen sind mehr oder weniger kuglig oder halbkuglig; der Stiel ist dick, stark verkieselt und trägt am freien Ende eine oder mehrere kopfige Anschwellungen aus Cellulosereicher Substanz, welche sich mit Chlorzinkjod bläuen im Gegensatz zu der farblos bleibenden Rindenschicht, deren äussere Contour dann nur schwer zu erkennen ist und nur durch die Enden der nach allen Seiten ausstrahlenden Cellulosefasern bezeichnet wird. Schichtung ist nur im Kern zu bemerken. Auch der die Stielbasis umgebende Theil der Zellwand ist verkieselt. Fig. 25 ist ein Cystolith aus einem vollkommen entwickelten Blatt dieser Pflanze. *Morus alba* und *rubra* verhalten sich bezüglich ihrer Cystolithen wie *M. nigra*, die Differenzen zwischen den Cystolithen sind unwesentlich.

URTICACEEN.

Die Cystolithen der *Urticaceen* scheinen, soweit sie bis jetzt bekannt sind, ebenfalls von systematischem Werth zu sein, indem für ganze Tribus und Gattungen dieser Familie bestimmte Formen

[1] *Bokorny, Th.* Ueber die durchsichtigen Punkte in den Blättern. (Flora. 1882. Sep.-Abd. p. 14.)

[2] *Miliarakis, Sp.* l. c. p. 28.

der Cystolithen charakteristisch sind. Der Gattung *Pilea* sind zweischenklige, spindelförmige Cystolithen eigen, *Elatostema* und *Myriocarpa* besitzen längliche, welche bei letztgenannter Gattung sternförmig um die Haarbasis gruppirt sind; in der Tribus der *Parietarieae* finden wir stets runde Cystolithen, bei *Urtica* ist die Form schwankend, bei *Boehmeria* sind bisher nur rundliche Cystolithen beobachtet worden.

Die Arten der Gattung *Urtica* besitzen kurzgestielte, rundliche, ellipsoidische oder ei- oder birnenförmige, mit kleinen Warzen bedeckte Cystolithen, welche ausserordentlich zahlreich von der oberen Epidermis tief in das Mesophyll des Blattes durch die Palissadenzellenschicht hindurch ragen. Die Fig. 17, Taf. IV stellt einen Cystolithen von *Urtica dioica,* Fig. 18 von *Urtica pilulifera* dar. Ganz ähnlich sind die Cystolithen von *Parietaria* (Fig. 19). Auch bei dieser Gattung liegen dieselben unter der oberen Epidermis, sind ganz kurz und dünn gestielt und oft beinahe kuglig. Nicht selten weist auch die Blattunterseite bei *Parietaria* und *Urtica* Cystolithen auf, welche dann immer rundlich und kleiner als die der Oberseite sind. Da *Urtica* an der Oberseite mehr längliche, mitunter sogar möhrenförmige besitzt, ist zwischen den oberen und unteren Cystolithen dieser Gattung ein deutlicher Unterschied, der bei *Parietaria* nicht existirt. *Urtica macrophylla* allein führt unter der Oberfläche ihrer Blätter lang spindelförmige, gerade oder gekrümmt-zweischenklige Cystolithen, welche in ähnlich gestalteten Zellen liegen, an deren Aussenwandmitte sie durch feine Stielchen befestigt sind. Noch längere, aber sonst gleichgestaltete und in derselben Weise aufgehängte Cystolithen enthalten die Arten der Gattung *Pilea,* so *Pilea decora, Pilea densiflora, Pilea muscosa.* Von letztgenannter Pflanze habe ich in Fig. 24, Taf. IV einen Cystolithen abgebildet. Derselbe ist noch spitzwarziger, als es die Cystolithen von *Urtica macrophylla* und die der *Acanthaceen* sind.

Boehmeria hat in vergrösserten Epidermiszellen der Blattoberseite kuglige, stark warzige, mit Kalkcarbonat intensiv incrustirte Cystolithen, deren Stiel lang aber ausserordentlich dünn ist und an seinem Ende eine Spur einer keuligen Anschwellung erkennen lässt. In Fig. 20, Taf. IV ist ein Cystolith von *Boehmeria tenacissima* dargestellt. c der Cystolith, p Palissadenparenchym, o eine von den zahlreichen, zwischen den Palissadenzellen liegenden

Kalkoxalatdrusen. In Fig. 20a ist die schwache Anschwellung des Stieles sichtbar.

Bei einzelnen *Pilea*-Arten besitzen die langgestreckten Cystolithen Kieselschalen, welche nach Behandlung mit Chromschwefelsäure als alle Erhabenheiten und Vertiefungen wiedergebende Hüllen zurückbleiben.[1] Constant sind diese Kieselschalen für die *Pilea*-Cystolithen nicht.

CUCURBITACEEN.

Unter den *Cucurbitaceen* sind zwei Arten von *Momordica* bis jetzt als cystolithenführend erkannt: *Momordica charantia* und *M. echinata*,[2] bei welchen sich die Cystolithen allein in der Epidermis der Blattunterseite finden und die Eigenthümlichkeit haben, nicht an den Aussenwänden der Tragzellen, sondern an deren Seitenwänden angeheftet zu sein und stets in Gruppen von 2 *(M. echinata)* oder 4—5 *(M. charantia)* von einer gemeinsamen Ansatzstelle divergirend aufzutreten, doch so, dass jeder Cystolith seine besondere Zelle erfüllt. Die Cystolithen sind hier meist relativ gross und lassen im ausgebildeten Zustand kaum einen Zwischenraum zwischen sich und den Zellmembranen übrig. Mitunter bilden sich als Verlängerung derselben in den benachbarten Zellen kleine Cystolithen aus. Bei den *Ficus*-Arten waren die Cystolithen meist nach allen Seiten gleichartig gestaltet, die hier in Rede stehenden sind nur an der dem Mesophyll zugekehrten Oberfläche warzig, an der entgegengesetzten aber glatt. Auch in den chemischen Eigenschaften weichen diese Cystolithen von anderen ab. Nach Entfernung des Kalkes durch Salzsäure färben sie sich mit Chlorzinkjod nicht violett, diese Färbung tritt erst nach Behandlung mit Kali ein, sie bestehen demnach nicht aus reiner Cellulose, erweisen sich jedoch auch weder als verholzt noch als verkorkt. Vom Stiel oder wenigstens dessen unterstem Theil lässt sich leicht nachweisen, dass er fast aus reiner Kieselsäure besteht, was nach *Penzig*[3] nicht der Fall sein soll.

---

[1] *Miliarakis, Sp.* l. c. p. 28.

[2] *Penzig, O.* Zur Verbreitung der Cystolithen im Pflanzenreiche. (Bot. Centralbl. VII. 1881. p. 393.)

[3] *Penzig, O.* Sur la présence des cystolithes dans quelques Cucurbitacées. Avec 1 pl. (Arch. ital. de biol. T. III. 1883. p. 275—285.)

Auch der ganze übrige Theil der Cystolithen enthält Kieselsäure, welche in Form eines zarten Gerüstes nach dem Glühen und Behandeln mit Salzsäure zurückbleibt. Fig. 30 Taf. IV ist das Kieselskelett eines Cystolithen. Das Fussende f ist besonders stark verkieselt und durch etwas fast immer zurückbleibende organische Substanz bräunlich bis schwarz gefärbt.

Besonders auffallende Cystolithen finden sich, wie ich bei meinen ausgedehnten Untersuchungen der *Cucurbitaceen* bemerkt, in den Primordialblättern von *Momordica charantia*. Die Fig. 25—29 Taf. IV stellen diese Gebilde dar, ungestielte mit Kalk stark incrustirte Warzen, welche auf der Aussenfläche zum Theil mit kleinen Vorsprüngen besetzt oder durchaus glatt sind. Gewöhnlich ist ihre Anlage auf zwei bis vier aneinandergrenzende Zellen des Mesophylls dicht unter dem Palissadenparenchym beschränkt. An den die Zelllumina trennenden Scheidewänden entspringen die jugendlichen Zapfen und wachsen, bis sie die sich langsam mit vergrössernden Zellen nahezu ausfüllen (a a). Auch in den darunter- und daneben liegenden Zellen des Mesophylls entstehen Wandverdickungen, die, mit breiter Basis der Zellwand aufsitzend, als dicke unregelmässig geformte deutlich geschichtete Zapfen (b b) nach allen Seiten ausstrahlen.

Bei Behandlung mit Säuren brausen die in Rede stehenden Gebilde heftig auf und hinterlassen in ihrer Aussenpartie jene fein radial gestreifte und tangential geschichtete farblose Cellulose-ähnliche Grundsubstanz, auf die schon oben aufmerksam gemacht wurde. Der Kern ist nicht radial gestreift, besteht aus dicken Schichten und zieht sich meist von der Aussenpartie zurück. Fig. 27 Taf. IV).

Sämmtliche von mir untersuchte *Cucurbitaceen* zeigten ähnliche Bildungen wie die *Momordica*-Arten. Ihr Auftreten war meist auf die Zellen der Haare oder die an der Basis der letzteren gelegenen Zellen beschränkt, ihre Gestalt oft so reducirt, dass man nicht eigentlich von Cystolithen sprechen sollte. Allein der Uebergang von den ächten gestielten Cystolithen zu den stiellosen und zu solchen Gebilden, die nichts weiter darstellen als verkalkte Celluloseprotuberanzen ist ein so allmählicher, dass es mir zweckmässig erscheint, keine künstliche Grenze zu ziehen und alle diese Formen dem Begriff Cystolith unterzuordnen. Die höchste Ausbildung treffen wir unbestreitbar bei *Ficus* an, während uns die niedrigste Entwicklungsstufe bei einzelnen *Cucurbitaceen* begegnet.

Zwischen beiden Extremen kommen die *Acanthaceen, Urticaceen, Cannabineen* zu stehen.

Bei Aufstellung dieser Stufenleiter habe ich immer nur die am vollständigsten ausgebildeten Cystolithen jeder Art als massgebend in's Auge gefasst, was nöthig ist, da man auch bei ein und derselben Pflanze häufig eine ganze Reihe verschiedener Ausbildungsformen der Cystolithen antrifft. Es herrscht oft ein deutlich zum Ausdruck gelangender Antagonismus zwischen der Tendenz zur Trichom- und Cystolithenbildung, eine Art von Wachsthumscorrelation, insofern Zellen, welche durch zunächst schwache Vorwölbung die Neigung zur Haarbildung verrathen, nur dann wirklich zu normalen Haaren werden, wenn in ihnen keine Cystolithen angelegt sind, ihre definitive Ausformung zu Haaren aber um so weniger erlangen, je stärker in ihnen entstehende Cystolithen zur Ausbildung kommen. Daher rührt es, das man Epidermiszellen mit grossen Cystolithen findet, welche oft nur noch durch ein winziges nach aussen vorspringendes Spitzchen ihre Trichomnatur verrathen, neben Haaren von ansehnlicher Längenentwicklung mit winzigen Cystolithen und zwischen diesen Extremen alle Uebergänge, wie ich sie in der Fig. 15 Taf. IV nach Präparaten von *Ficus Carica* dargestellt habe.

Die von mir untersuchten *Cucurbitaceen*-Gattungen sind: *Cucumis, Cucurbita, Brassopepo, Coccinea, Momordica, Cyclanthera, Benincasa, Sicyos, Thladiantha, Luffa, Bryonia* und *Gronovia.*

Darunter fehlen die Cystolithen ganz den Gattungen *Luffa* und *Thladiantha*, wenigstens konnte ich weder bei *Luffa marylandica* noch *Thladiantha dubia* solche constatiren; auch die für die *Cucurbitaceen* charakteristischen kalkincrustirten Haarverdickungen sind nur sehr schwach entwickelt und beschränken sich meist auf die äusserste, hakenartig gekrümmte Endzelle der Trichome.

Brassopepo Durieui zeigt mitunter unbedeutende Membranverdickungen an der Haarbasis; häufiger und mächtiger sind diese Verdickungen und bereits verkalkt bei *Coccinea indica,* aber sie bewahren da noch vollständig den Membrancharakter, sie wölben sich noch nicht zapfenartig vor und sind gleichsam eine Vorstufe für die Formen, welche die übrigen noch von mir untersuchten *Cucurbitaceen*-Gattungen darbietet. Die Blattoberseite, welche haarlos ist, besitzt Gruppen von aneinanderliegenden, starkvergrösserten Epidermiszellen, deren Wände sich da, wo sich die

Zellen berühren, verdicken und verkalken. In den Fig. 42, 43 Tafel IV sind diese Verhältnisse veranschaulicht. a ist ein Flächenschnitt durch eine solche 5zellige Gruppe mit den Verdickungen vvv, b ist das Bild eines Blattlängsschnittes, rechtwinklig zur Blattfläche, ee die gewöhnlichen Epidermiszellen, e'e'e' die vergrösserten mit den Verdickungen vvv, welche eine deutliche Schichtung aufweisen.

Cyclanthera, Sicyos, Cucumis und *Benincasa* stehen in Bezug auf die Ausbildung der Cystolithen auf gleicher Höhe. Immer sind die um die Haarbasis herumliegenden Zellen in grosser Zahl mit Celluloseverdickungen versehen, welche bei *Sicyos angulata* und *Benincasa* schon Zapfenform annehmen, bei *Cyclanthera explodens* und *Sicyos bryoniaefolia* dagegen nur wenig vorspringen. *Cyclanthera pedata* und *Cucumis minutissima* zeichnen sich vor allen Anderen aus durch die grosse Zahl der cystolithenführenden Zellen, die bei der letztgenannten bis auf 20 steigen kann. Der Grund der kurzen, eigenthümlich schief aufsitzenden Haare von *Cyclanthera pedata* ist von einem ganzen Kranz von Zellen umgeben, deren Wände bis fast zum vollständigen Schwund der Lumina verdickt sind, wie in Fig. 34 Taf. IV veranschaulicht ist; die dunkelgehaltenen Stellen sind die mit Kalkcarbonat incrustirten Cellulosemassen. Fig. 38 stellt die Verhältnisse bei *Benincasa cylindrica*, Fig. 33 bei *Cyclanthera explodens*, Fig. 40 bei *Sicyos angulata* (nur für die grossen Haare der Blattoberseite, nicht die viel kleineren der Unterseite gilt das Gesagte) und Fig. 41 für *Sicyos bryoniaefolia* dar. Auch bei *Bryonia* werden die kurzen, mehrzelligen Trichome der Blattober- und Unterseite zu Mittelpunkten eines mit dem Alter fortschreitenden Verkalkungsprozess, der sogar dem blossen Auge sichtbar wird dadurch, dass bei älteren Blättern zahlreiche weisse, runde, etwa 1 mm im Durchmesser habende Flecke erscheinen, welche den jungen Blättern fehlen. Die Zellen der warzenartigen Haare und alle diese umgebenden Zellen, sowohl der Epidermis, als auch des Palissaden- und Schwammparenchyms, in einem Umkreis, dessen Radius oft sieben Zellen hintereinander misst, produciren mit Kalkcarbonat sich allmälig incrustirende Cellulosemassen. Diese sind mitunter ächte, kurzgestielte, feinwarzige Cystolithen, deren Stiel man jedoch erst nach Einwirkung von Salzsäure wahrnehmen kann, da derselbe meist in die Masse des Cystolithen eingesenkt ist; häufiger aber entbehren sie des Stiels und sitzen mit breiter Basis einem Theil der Tragzellenwand

auf (Fig. 48—50). Die Anheftungsstellen sind dann immer gegen die Haarspitze gekehrt, so dass die Gebilde nach allen Seiten von derselben ausstrahlen. Bei den gestielten Cystolithen durchsetzen zahlreiche dichtere Cellulosefasern von der Ansatzstelle des Stieles aus den Kopf des Cystolithen, wie ich in den bezeichneten Figuren dargestellt habe. Die tangentiale Schichtung ist relativ grob. Nach Behandlung mit Salzsäure erscheint der Kern des Kopfes hell, der peripherische Theil körnig, was es wahrscheinlich erscheinen lässt, dass hier umgekehrt, als bei den Cystolithen von *Ficus* das Centrum kalkcarbonatreich, der peripherische Theil dagegen sehr cellulosereich ist. Die Zahl der von diesen Bildungen erfüllten Zellen steigt bei *Bryonia alba* z. B. auf 40 und mehr. Fig. 48 Taf. IV zwei senkrecht durchschnittene Cystolithenzellen vom *Bryonia alba*-Blatt. ss die Stiele der Cystolithen. Fig. 47 Taf. IV ist ein Theil des senkrecht durchschnittenen Blattes. tt' zwei der Haare, t der Oberseite, t' der Unterseite des Blattes. pp Palissadenparenchym; die dunkelschattirten Körper sind die Cystolithen. Fig. 49 ein eigenthümlich traubiger Cystolith dieser Pflanze. Fig. 50 drei Epidermiszellen aus der Gegend a der Fig. 47 mit 3 breit angehefteten Cystolithen.

Gronovia steht *Brassopepo* am nächsten, insofern bei ihr nur das einzellige Haar selbst, bei *Brassopepo* eine einzige basal gelegene Zelle des vielzelligen Haares immer oder mitunter eine cystolithenartige Verdickung aufweist, die geschichtet und mit Kalk incrustirt ist und als dicker mehr oder weniger zapfenförmiger Vorsprung meist der Seitenwand des Haares resp. der Basalzelle desselben angeheftet ist. Die Fig. 39 und 46 Taf. IV stellen zwei Feilhaare von *Gronovia scandens* dar mit den Cystolithen cc.

CANNABINEEN.

An diese Cystolithen reihen sich direkt an diejenigen, welche in den Trichomen der Blattober- und Unterseite von *Cannabis sativa* (indica), *Humulus Lupulus* und der *Loasacee Cajophora lateritia* sich ausbilden.

Sowohl bei *Cannabis sativa* als *Cajophora lateritia* sind die Cystolithen repräsentirt durch einfache Cellulosewülste oder Zapfen, welche in das Innere der einzelligen Haare an deren Basis hineinragen, wie aus den Fig. 36 und 37 Taf. IV ersichtlich ist, von welchen die erste ein Haarfragment von *Cajophora lateritia*, die zweite ein solches von *Cannabis sativa* darstellt.

Einen weit höheren Grad der Vollkommenheit erreichen die Cystolithen von *Humulus Lupulus*. Die kurzen, einseitig hakenförmig umgebogenen Feilhaare der Blattoberseite sind die Träger kurzer, warziger Cystolithen, welche denen von *Ficus elastica* einigermaassen ähneln. Fig. 45 Taf. IV zeigt ein solches Haar im Längsschnitt; der Cystolith ist unversehrt, der oberen Wand des Haares mit breitem Stiel angefügt. Die Warzen sind vielfach kleiner als in dieser Figur, etwa so wie Fig. 44 Taf. IV vergegenwärtigt; meist füllt der Cystolith die Haarzelle vollständig aus; er zeigt nur tangentiale Schichtung, keine radial verlaufenden Cellulosefasern. In den die Haarzelle umgebenden Oberhautzellen entspringen den jener zugewandten Seitenwänden geschichtete, verkalkte, mitunter etwas warzige Cellulosezapfen, wie wir dieselben bei vielen *Cucurbitaceen* kennen gelernt haben; allein hier bleibt deren Auftreten auf die das Haar umgebenden Epidermiszellen beschränkt, während sich dieselbe bei den *Cucurbitaceen* auch auf Grundgewebszellen erstreckt. Da diese Gebilde sich der Gestalt ihrer Tragzellen anpassen und letztere schliesslich ganz erfüllen und die um die Haarzelle liegenden Epidermiszellen von dieser wie die Radien eines Kreises nach allen Seiten divergiren, nehmen auch die Cellulosezapfen diese Anordnung an und strahlen vom Haarcystolithen allseitig oft in drei Reihen hintereinander aus, so dass die Zahl derselben bisweilen 30—40 und mehr beträgt. In Fig. 44 Taf. IV ist der Jugendzustand einer solchen Gruppe dargestellt; neun Cellulosezapfen in verschiedener Entwicklungshöhe umgeben die Centralzelle. Die Haare der Blätter von *Humulus* stehen ziemlich dicht, es kommen oft 15 auf den Quadratmillimeter Blattfläche; die Folge davon ist, dass die Zonen der mit verkalkten Cellulosekörpern erfüllten Epidermiszellen aneinanderstossen und auf diese Weise die Oberseite des *Humulus*-Blattes mit einem veritablen Kalkcellulosepanzer bedeckt ist, der die auffallende Härte und Sprödigkeit alter Hopfenblätter bedingt und ohne Zweifel der Pflanze wichtige Dienste leistet.

Die Cystolithen von *Cannabis* und *Cajophora* sowohl als auch die den centralen Cystolithen umgebenden verkalkten Cellulosezapfen von *Humulus* weichen von den meisten Cystolithen dadurch ab, dass ihnen die radial ausstrahlenden Cellulosefasern vollständig fehlen, wogegen ihnen eine starke tangentiale Schichtung eigen ist. Ihre Structur bleibt durch die ganze Masse hindurch gleich, von einem Stiel kann nicht gesprochen werden, da der oft

etwas verschmälerte untere Theil Nichts mit dem Stiel wohlausgebilder Cystolithen gemein hat, weshalb dessen Gebilden auch jede Verkieselung fehlt, die ja meist besonders den Stiel befällt.

COMBRETACEEN.

Innerhalb der Familie der *Combretaceen*[1] sind bis jetzt die beiden Gattungen *Gyrocarpus* und *Sparattanthelium* als Cystolithenführend erkannt. Die Cystolithen von *Sparattanthelium Tubinambazum* sind unregelmässig gestaltet und ähneln verzweigten Sclerenchymzellen, eine Form wie sie in ausgewachsenen Blättern sonst nicht gefunden ist, wohl aber ähnlich in jugendlichen von *Ficus elastica* (siehe Fig. 53 cf Taf. IV) oder im Marke mancher Pflanzen, wo die Gestalt der Cystolithen überhaupt variabeler zu sein pflegt. An diese Cystolithen schliessen sich die von *Spar. Tupiniquinorum* eng an. *Gyrocarpus asiaticus* besitzt ellipsoidisch-kuglige Cystolithen. Bei *Spar. Tupiniquinorium* treten die Cystolithen mitunter an der Blattunterseite auf, bei den anderen untersuchten *Combretaceen* nur an der Oberseite, bei jener Art sind sie kalkcarbonat-arm oder ganz kalkfrei, bei den beiden anderen Arten stark mit kohlensaurem Kalk incrustirt. Schichtung und Radialfaserbildung ist oft sehr deutlich ausgebildet; die entkalkte Grundmasse zeigt Cellulosereaktion.

Interessant ist, dass die den genannten Gattungen sehr nahe verwandte *Illigera* vollständig frei von Cystolithen ist, wodurch die bereits von *Baillon* vorgenommene Scheidung der *Gyrocarpeen* in zwei Triben *Gyrocarpeen* s. str. und *Illigereen (Illigera)* eine neue Stütze erhalten hat. (Siehe Anhang.)

ACANTHACEEN.

Für die *Acanthaceen*[2] ist das Vorhandensein der Cystolithen kein constantes, aber für die systematische Eintheilung derselben werthvolles Merkmal. Die Cystolithen fehlen ganz den *Thunbergieen, Nelsonieen, Acantheen* und *Aphelandreen* [*Aphelandra, (Strobilorhachis, Lagochilium) Geissomeria (Salpixantha) Stenandrium*], bei allen übrigen sind sie vorhanden und in charakteristischer

[1] *Solereder, H.* Ueber den systematischen Werth der Holzstructur bei den Dicotyledonen. München. 1885. p. 126 ff.

[2] *Russow, E.* Mittheilungen über sekretführende Intercellulargänge und Cystolithen der Acanthaceen etc. (Sitzber. der Dorpater Naturforsch. Ges. 1880). — *Hobein, M.* Ueber die systematische Bedeutung der Cystolithen bei den Acanthaceen. (Engler's bot. Jahrb. Bd. V. H. 4. 1884. p. 438 ff.)

Weise vertheilt. So werden Cystolithen immer und nur in Epidermiszellen des Blattes und niemals in subepidermalen Geweben gefunden und zwar einzeln liegend und

a. rundlich, selten zur länglichen an beiden Seiten stumpfen Form übergehend bei

Asystasieen (Chamaerenthemum)
Pseuderanthemeen
Andrographideen.

b. länglich, an beiden Enden stumpflich, selten rund

Eujusticieae z. Th. (ausgenommen: *Rostellularia* mit beiderseits zugespitzten Cystolithen, *Jacobinia, Habracanthus* und *Chaetotylax* mit an einem Ende zugespitzten Cystolithen)

Barlerieen z. Theil, nämlich die Gattungen *Lepidagathis* und *Barleriola:* (bei *Lepidagathis terminalis Hochst., glandulosa Nees., scariosa Nees.* neben einfachen auch Doppelcystolithen)

c. länglich, an einem Ende immer deutlich spitz

Ruellieen z. Th.: die Gattungen *Spirostigma* z. Th. *Dychoriste, Eschinacanthus, Phyalopis-Aetheilema, Stephanophysum, Blechum, Daedalacanthus.*

Eujusticieen z. Th: die Gattungen *Jacobinia, Pachystachys, Habracanthus, Chaetotylax, Eranthemum.*

d. länglich, an beiden Enden spitz

Ruellieen: Sanchezia.
Eujustricieae: Rostellularia.

e. von wechelnder Gestalt

Diclipteeen.

Ruellieen: (bei allen noch nicht genannten Gattungen finden sich Uebergänge von der länglich stumpfen Form zu der an einem Ende zugespitzten)

Doppelcystolithen rundlich oder länglich, mit oft keulenförmig verdickten Enden einander zugekehrt und zwei benachbarten Zellen angehörig kommen zu den

Barlericen: Periblema
Barleria
Crabbea: (bei *Lepidagathis terminalis Hochst, glandulosa Nees., scariosa Nees.*, auch runde oder länglich stumpfe Formen, bei den übrigen Arten rundlich oder länglich beiderseits stumpfe Cystolithen)

Endlich führen Cystolithen niemals in Epidermiszellen, sondern immer im subepidermalen Gewebe des Blattes

Anisotes trisulcus Nees.,
Adhatoda vasica Nees.
Harpochilus phaeocarpus Nees.

Die Form der Cystolithen der *Acanthaceen* ist, wie aus der eben gegebenen Tabelle hervorgehend, sehr variabel. Der Stiel ist immer zart und dünn und mag im Alter resorbirt werden, da man alte Cystolithen oft frei beweglich in der Trägerzelle antrifft. Je nach der Gestalt des Cystolithen ist der Stiel an der Längsseite zwischen den spitzen Enden in der Mitte angeheftet oder bei den länglichen, nur an einem Ende spitzen Cystolithen an dem stumpfen Ende, in diesem Falle pflegt die Trägerzelle sich mit dem bei weiten grösseren Theile ihres Durchmessers an der Bildung der Blattoberfläche zu betheiligen, in jenem nur mit einem verschwindend kleinen Theile. Die zweischenkligen Cystolithen sind an der Aussenwand, die einseitig zugespitzten an einer Seitenwand der Trägerzelle befestigt, die Doppelcystolithen sind immer der die beiden Tragzellen trennenden Querwand angeheftet, wie dies auch häufig bei *Cucurbitaceen* vorkommt (siehe Fig. 25, 26 Taf. IV, Doppelcystolith von *Momordica charantium*). Die Cystolithen der *Acanthaceen* füllen die Trägerzellen meist nahezu aus. Dem Holz scheinen die Cystolithen ganz zu fehlen. Die innere Struktur der *Acanthaceen*-Cystolithen kommt derjenigen der *Moreen*-Cystolithen am nächsten. Die Masse des Cystolithen ist von radiär ausstrahlenden dichteren Cellulosefasern durchsetzt, vom Stielanheftungspunkt nach allen Seiten divergirend und an den äussersten Enden der meist niedrigen Protuberanzen endigend, und ist auf Quer- und Längsschnitten deutlich als fein geschichtet zu erkennen. Interessant ist, dass der Gehalt der Cystolithen an kohlenraurem Kalk bei den *Acanthaceen* grossen Schwankungen unterliegt, man begegnet allen Abstufungen von vollständig kalkfreien Cystolithen bis zu solchen, die sehr viel Kalkcarbonat enthalten. Die im subepidermalen Gewebe meist dicht unter der Epidermis liegenden Cystolithen der Gattung *Harpochilus* brausen mit Salzsäure gar nicht, und erweisen sich bei näherer Prüfung als aus reiner Cellulose bestehend; ebenso sind nach *Hobein*[1] die Cystolithen im Blatte von *Clistax brasiliensis* Mart. kalkfrei. Oft ist

[1] *Hobein*, *M.* l. c.

der kohlensaure Kalk in so geringer Menge eingelagert, dass er bei Zusatz von Salzsäure nicht in Blasenform entweicht, sondern nur durch Gypsnadel-Bildung nach Behandlung mit Schwefelsäure sich verräth. Auch innerhalb derselben Pflanze kann, was nicht zu verwundern ist, der Kalkgehalt der Cystolithen weiten Schwankungen unterworfen sein, so beispielsweise bei *Ruellia japonica*, wo die Cystolithen des Blattes wenig, die des Markes und der Rinde viel Kalkcarbonat enthalten. Ebenso wie der kohlensaure Kalk kann auch die Kieselsäure in sehr verschiedener Menge am Aufbau des Cystolithen sich betheiligen; soviel ist sicher, dass eine theilweise Silicification der Cystolithen auch bei den *Acanthaceen* der gewöhnliche Fall ist. Manchmal behält man nach Einäscherung und Entfernung des Kalkcarbonats ein vollständiges Kieselskelett übrig, in anderen Fällen ist nur die den Anheftungspunkt des Stieles umgebende Region verkieselt, mitunter, besonders bei jugendlichen Cystolithen fehlt auch wohl die Kieselsäure noch ganz; jedenfalls ist es nicht richtig, wenn *Richter*[1] die Anwesenheit der Kieselsäure in den Cystolithen der *Acanthaceen* überhaupt in Abrede stellt.

FUNKTION UND SCHICKSAL DER CYSTOLITHEN.

Nach meinen Beobachtungen erblicke ich in den Cystolithen Speicherorgane für Kalk, welcher in ihnen als Carbonat in geringen oder grossen Mengen deponirt wird, um später gelegentlich wieder in den Stoffwechsel einzutreten und Dienste als Transporteur der Kohlehydrate zu leisten. Man kann beobachten, dass aus alten Blättern die dem Absterben entgegen gehen, allmälig der grösste Theil des Kalkes in den Stamm zurückgeführt wird, um daselbst als oxalsaurer Kalk wieder zur Ruhe zu kommen. Die *Ficus*-Arten waren es zunächst, an denen ich diese Ableitung des Kalkes deutlich verfolgen konnte. Der Cystolith, der auf der Höhe seiner Ausbildung stehend, als starklichtbrechender Körper die Trägerzelle meist ganz ausfüllt, verliert mehr und mehr das starke Lichtbrechungsvermögen bis auf den Stiel, der es in Folge seines Kieselsäurereichthums behält. Der Cystolithenkopf wird immer durchsichtiger, er erscheint fein punktirt, wie ein zarter, durchsichtiger Schwamm mit schwacher, concentrischer Schichtung, aber

[1] *Richter*. Sitzber. d. Wiener Akad. Bd. 76. Jul. 1877.

ohne jede Radialstreifung, so wie ihn Fig. 51 a Taf. IV darstellt (von *Ficus elastica*). Später schrumpft das zarte Celluloseskelett mehr und mehr zusammen, so dass es nur noch einen relativ kleinen kugligen Ballen bildet, der sich nach und nach bräunt und zuletzt nur noch die innersten Schichtungen scharf erkennen lässt, während die äusseren zu einer unregelmässig gestreiften Masse sich verdichtet haben. Fig. 51 b und c, Taf. IV. Es war mir besonders interessant, dass ich an *Ficus elastica* genau verfolgen konnte, wie das von seiner Stipularscheide umhüllte ganz junge Blatt zunächst kleine Mengen primären Kalkoxalats in Form von Drusen in den Epidermiszellen enthält (siehe Fig. 53 I, Taf. IV), wie dieses Kalkoxalat zum Theil verschwindet, zum Theil als *Rosanoff'*sche Drusen zurückbleibt, während nach und nach unter Lichteinfluss die Cystolithen mit ihrer Kalkincrustation sich heranbilden, um sich später, wie bereits angeführt, endgültig zu entleeren. Ich sagte, im Lichteinfluss, weil sich leicht nachweisen lässt, dass bei Entwickelung eines Blattes im Dunkeln die Bildung normaler Cystolithen unterbleibt.

In Fig. 53, Taf. IV habe ich eine meiner Versuchspflanzen abgebildet. Blatt I und II wurden ganz im Dunkeln gehalten, I war noch in der Stipularscheide. Blatt III war zur Hälfte im Dunkeln erwachsen, zur Hälfte am Licht, alle übrigen Blätter unter ganz normalen Verhältnissen; die Fig. I, II, III d u und III h e vergegenwärtigen die jeweiligen Ausbildungsstufen der Cystolithen in den analog bezeichneten Blättern, wobei III d u ein Cystolith aus der dunklen Hälfte des Blattes III ist, III h e dagegen zwei aus der belichteten Hälfte desselben Blattes. Dieses Beispiel lehrt, dass die Cystolithen von *Ficus elastica* und ich füge gleich hinzu, aller *Ficus*-Arten sich sehr langsam und nur unter Lichteinfluss entwickeln, erst im 5. oder 6. freien Blatt sind dieselben vollständig ausgebildet, während im ersten freien Blatt nur die Zellstoffstiele vorhanden sind, im zweiten nur eben eine Anschwellung am unteren Ende derselben zu bemerken und von Kalkcarbonat noch nichts nachzuweisen ist. Lässt man zu Blattquerschnitten, welche man aus Blättern anfertigt, die in schwachem Licht erwachsen sind, Schwefelsäure zufliessen, so wird man erstaunen über die Massen von Gypskrystallen, welche entstehen, und zwar ebensowohl in den Zellen der Epidermis als in denen des Hypoderms. Am wenigsten bilden sich in den Cystolithenzellen. Um mich zu überzeugen, dass der Kalk dieses Gypses nicht etwa aus

dem Carbonat der Cystolithen stammt, wählte ich von den ohnehin sehr kleinen Cystolithen die kleinsten, die eben nur eine kopfige, mit wenig Schichten ausgestattete Anschwellung zeigten, fand aber denselben Kalkreichthum in genannten Zellen. Ist also durch Lichtmangel die Cystolithenbildung bei *Ficus* verzögert oder unterdrückt, so sammelt sich Kalk in ansehnlichen Mengen in gelöster Form in der Epidermis und dem Hypoderm der Blattoberseite an. Das Kalkcarbonat der *Ficus*-Cystolithen verhält sich genau wie sekundäres Kalkoxalat, d. h. es tritt nur auf bei Anwesenheit von genügendem Licht und Chlorophyll. Die Cystolithen von *Ficus* sind keine Anziehungscentra für Kalk, sondern nur Organe, in welchen sich Kalkcarbonat niederschlägt, welches in Form löslicher Kalksalze auf andere Weise in die oberflächlich gelegenen Zellen des Blattes transportirt werden. Ganz anders verhält es sich z. B. mit den Cystolithen der *Acanthaceen*. Schon dicht am Vegetationspunkt weist die Epidermis der Blätter und Stengel ansehnliche Cystolithen auf, die freilich auch noch wachsen, aber doch schon der fertigen Form ähneln und grosse Mengen Kalkcarbonat enthalten. Wir haben es demnach in den Cystolithen der *Acanthaceen*[1] mit einem Kalkcarbonat zu thun, welches dem primären Kalkoxalat analog ist, in den Cystolithen der *Ficus*-Arten (und überhaupt der *Moraceen*) dagegen mit einem solchen, welches dem sekundären oxalsauren Kalk entspricht, denn jenes entsteht schon während der Ausbildung des betreffenden Organs ohne Licht, dieses erst, nachdem das Organ bereits der Vollendung nahe ist und nur bei Lichtzufluss. Dass in den *Ficus*-Blättern der Kalk primär in Form von Oxalat-Drusen erscheint, habe ich bereits erwähnt, möglich, dass dieser Kalk später in den Cystolithen wieder zum Vorschein kommt. Etiolirte Blätter der *Acanthaceen* enthalten normale Cystolithen, im Dunkeln erwachsene der *Moraceen* und *Urticaceen* dagegen keine oder nur rudimentäre. Bei jenen hat nachträgliche Verdunkelung auf fertige Cystolithen keinen Einfluss, bei diesen wird durch Verdunkelung baldige Auflösung der Cystolithen bewirkt. Wird einer Cystolithen-Pflanze vom Boden her kein Kalk zugeführt, so unterbleibt die Cystolithen-Bildung überhaupt, es wird zwar der Stiel noch angelegt, aber die kopfige Anschwellung kommt nicht zu Stande, nicht einmal als

[1] Eingehende Untersuchungen über diesen Punkt habe ich an *Eranthemum nervosum*, *Gendarussa vulgaris* und *Ruellia formosa* angestellt.

Cellulose-Grundlage, woraus ich den Schluss ziehe, dass auch das Kalkcarbonat der Cystolithen vorher als Kohlehydratkalk-Verbindung wandert. Kann diese letztere Verbindung wegen Kalkmangels nicht entstehen, dann kann Kalk in den Cystolithen nicht gespeichert werden, aber was weniger naheliegend ist, es ist auch eine Cellulose-Abscheidung in der Cystolithenzelle nicht möglich, wie wir es also thatsächlich finden. Wandert umgekehrt im Herbst vor dem Blattfall oder überhaupt aus älteren Blättern Kalk aus den Cystolithen zurück in den Spross, so muss dies theoretisch vor sich gehen auch auf Kosten der Cellulose des Traubenkörpers, und in der That sehen wir auch die Cellulose beinahe ganz verschwinden bis auf einen oft winzigen Theil, der dem verkieselten Stiel anhängend zurückbleibt. (Fig. 51 b, c entleerte Cystolithen von *Ficus elastica* Fig. 52 b, c, d solche von *Morus alba;* a ein in der Entleerung begriffener Cystolith dieser Pflanze von unten gesehen.) Eine weitere Differenz zwischen den Cystolithen oben genannter beider Familien liegt in ihrem Kieselsäuregehalt; die *Moraceen*[1] verkieseln den Stiel immer und oft überzieht sich der ganze Cystolithen-Kopf mit einer verkieselten Membran und endlich finden wir bei *Ficus Sycomorus* ganz aus Kieselsäure bestehende Cystolithen. An die *Moraceen* schliessen sich bezüglich der Verkieselung der Cystolithen die *Urticaceen* an, die im Allgemeinen ähnliche Abstufungen aufweisen, nur kommt es bei ihnen, wie es scheint, niemals zu einer totalen Verkieselung. Hiermit steht in engem Zusammenhang, dass wir in alten Blättern der *Moraceen* und *Urticaceen,* auch wenn der Kopf des Cystolithen verschwunden ist, die Stiele wohlbehalten vorfinden, während bei den *Acanthaceen*[2] gerade die Stiele die vergänglichsten Theile darstellen, so dass die Köpfe frei in den Zellen liegen.

Ich habe vorhin die Behauptung aufgestellt, auch der Kalk der Cystolithen gelange als Kohlehydrat-Kalk in die Blätter. Dies schliesse ich aus der Analogie des Verhaltens des Kalkcarbonats und Oxalats. Auch beim Carbonat der Cystolithen scheint mit dessen Ausscheidung immer eine intensive Celluloseproduktion stattzufinden, immer ist die eine Begleiterscheinung der anderen, es liegt deshalb nahe, an eine Herkunft beider Substanzen von einer

[1] *Miliarakis, S.* Die Verkieselung lebender Elementarorgane bei den Pflanzen. Würzburg. Inaug.-Diss. 29 p.

[2] *Chareyre.* Nouvelles récherches sur les cystolithes. Rev. des scienc. nat. Montpellier, 3e sér. t. III. p. 523—602).

flüssigen Wanderform zu denken. Gegen eine solche Anschauung sprechen ohne Zweifel die „kalkfreien" Cystolithen, allein diese sind selten und ein Theil von ihnen wahrscheinlich nur kalkcarbonat-frei, denn auf dieses hat man nur geprüft. Solange also nicht nachgewiesen ist, dass es wirklich kalkfreie Cystolithen giebt, ist kein Grund vorhanden, an der Richtigkeit meiner Annahme zu zweifeln. Und selbst wenn wirklich mitunter hier und da ein Cystolith ohne Kalk gefunden würde, bliebe immer noch zu untersuchen, ob nicht in seiner Umgebung eine besonders starke exceptionelle Anhäufung von Kalkoxalat eine Ruheform für den ausgeschiedenen Kalk darstellt. Geringe Mengen kohlensauren Kalkes lassen sich ausserdem nach meiner Erfahrung trotz der gegentheiligen Behauptung *Melnikoff's*[1] nicht durch Säurebehandlung an der Blasenentwicklung unter dem Mikroskop erkennen. Letztere kann man ausbleiben sehen, auch wenn man reinen kohlensauren Kalk anwendet und alle von *Melnikoff* angegebenen Vorsichtsmassregeln befolgt.

Während den *Moraceen, Acanthaceen, Urticaceen* und *Combretaceen* nur ächte, d. h. in Stiel und Kopf zerlegbare Cystolithen zukommen, finden wir bei den *Cucurbitaceen* und *Cannabineen* neben ächten auch solche, die durch Ausbleiben der Stielbildung mit breiter Fläche der Membran der Trägerzelle aufsitzen und in Wahrheit nichts weiter darstellen, als Membranverdickungen, welche aber deshalb hier den Cystolithen beigezählt werden müssen, weil sie meist wie diese stark mit kohlensaurem Kalk, mitunter auch mit Kieselsäure infiltrirt sind und wie in den genannten beiden Familien durch alle möglichen Zwischenstufen mit den ächten Cystolithen verbunden sind. Ohne letztere kommen nun derartige mit kohlensaurem Kalk incrustirte, buckelförmig in das Zelllumen vorspringende Zellwandverdickung sehr häufig vor und zwar finden sie sich immer in den die Haarbasis umgebenden Zellen oder in Trichomzellen selbst und verrathen auch dadurch ihre enge Verwandtschaft mit den ächten Cystolithen, weshalb ich sie hier der Kürze wegen rudimentäre Cystolithen nennen will, ohne damit sagen zu wollen, dass sie phylogenetisch in aufsteigender Entwicklung begriffen sind, denn es bedürfte erst eingehender Untersuchung um nachzuweisen, dass sie nicht im Gegen-

[1] *Melnikoff, P.* Untersuchungen über das Vorkommen des kohlensauren Kalkes in Pflanzen. In.-Diss. Bonn 1877. p. 28 ff.

theil Rückbildungen sind, als welche man sie dann eher reducirte Cystolithen taufen müsste.

Ausser bei den *Cucurbitaceen* und *Cannabineen* sind derartige knötchenförmige rudimentäre Cystolithen ausserordentlich verbreitet bei den *Borragineen (Cerinthe aspera, major, minor, Onosma stellulatum, arenarium, Echium vulgare, fruticosum, Lithospermum officinale, arvense, Anchusa italica* etc.), bei den *Synanthereen (Helianthus tuberosus, trachelifolius, macrophyllus, Obeliscaria columnaris, Heliopsis laevis) Solaneen (Nicotiana)* etc. An dieser Stelle mögen auch die von *Russow* in den Wurzeln von *Rinanthus*, von *Hartwich* in den aleppischen Gallen beobachteten Gebilde einzureihen sein.

Hieran schliessen sich endlich die einfach verdickten und mit Kalkcarbonat incrustirten Zellwände, die besonders vielen Haarbildungen eigen sind, sowohl glattwandigen, als auch besonders den sogenannten Feilhaaren, mit spitzen oder stumpfen, öfters hakigen Protuberanzen. Das Kalksalz ist dann immer in nicht einzeln unterscheidbaren Theilchen in bestimmten Partien der Membran oder auch in der Gesammtmasse ihrer Membran enthalten. Ich erwähne als Beispiele nur die geraden oder gemshornartig gekrümmten Borstenhaare von *Symphylum officinale, Anchusa italica* und *officinalis, Helianthus*-Arten, *Ficus*-Arten, von zahlreichen *Cucurbitaceen*. Häufig ist bei diesen Trichomen nur die Spitze verkalkt und die Basis kalkfrei, bei vielen Brennhaaren ist umgekehrt die Basis kalkreich, die Spitze dagegen verkieselt. Bei den Feilhaaren findet sich das Kalkcarbonat am reichlichsten in den vorspringenden Höckern der Aussenseite, doch ist auch der übrige Theil der Membran nicht frei von diesem Salz, sondern oft so intensiv incrustirt, dass das Kalkskelett vollkommen die Form des Haares mit allen seinen Sculptureigenthümlichkeiten beibehält. Solche Feilhaare besitzen z. B. *Erysimum cheiranthoides, Pastinaca sativa, Torilis anthriscus, Cheiranthus Cheiri, Alyssum, Capsella, Cajophora lateritia, Ficus Carica* etc.

Blicken wir zurück auf die stattliche Reihe der in diesem Abschnitt beschriebenen mit Kalkcarbonat incrustirten Bildungen, so muss uns ohne Weiteres auffallen, dass wir vom vollkommensten Cystolithen an absteigend ohne einen Sprung endlich gelangen zur einfachen kalk-imprägnirten Zellmembran, so dass wir einen principiellen Unterschied zwischen jenem und dieser und allen Zwischengliedern nicht machen können. Die Pflanze vermag eben jede

Membran nach Bedürfniss als Kalkspeicher zu benutzen, wie es ja bei vielen Kalkalgen wirklich der Fall ist, oder aber es wird die Kalkablagerung localisirt, wie in den rudimentären und vollkommenen Cystolithen. Wie es aber auch sei, immer gehen Kalkcarbonat-Deposition und Deportation mit einer solchen von Cellulose Hand in Hand, eine Erscheinung, welche den kohlensauren Kalk in der Pflanze physiologisch dem oxalsauren ausserordentlich naherückt, die Rolle beider Salze ist dieselbe, bei dem einen wird der Kalk nach seiner Wanderung durch Kohlensäure zu Ruhe gebracht, bei dem anderen durch Oxalsäure, und es scheint eben manchen Pflanzen eine gelegentliche Produktion von Oxalsäure, anderen eine solche von Kohlensäure besonders bequem zu sein; ja, es hat den Anschein, als ob manche Pflanzen nur durch die eine, andere nur durch die andere Säure den Kalk zu binden vermöchten, denn viele Pflanzen bringen nur oxalsauren Kalk zur Abscheidung und führen niemals eine Spur des kohlensauren Salzes, viele wieder produciren nur das Carbonat und entbehren zeitlebens des Kalkoxalats. Endlich nehmen die Mitte zwischen beiden Extremen ein solche Pflanzen, die gleichzeitig Carbonat und Oxalat des Kalkes ausscheiden, wie die *Acanthaceen* etc., *Acetabularia, Halimeda* etc. unter den Kalkalgen.

KALKALGEN.

In ganz hervorragender Weise ausgezeichnet durch reichliche Kalkcarbonatführung sind die Kalkalgen, welche, aus den verschiedensten Familien der Algen sich recrutirend, ihrem hohen Gehalt an kohlensaurem Kalk diesen Sammelnamen verdanken. Bei ihnen combiniren sich Kalkeinlagerung in die Membran, Kalkausscheidung im Zellinnern und nach aussen mitunter in so intensivem Grade, dass man in älteren Exemplaren dieser Gewächse kaum etwas Anderes vor sich hat, als ein Zellstructur zeigendes Stück kohlensauren Kalkes. Es ist geradezu erstaunlich, welche ungeheure Mengen im Seewasser gelösten Kalkes durch die Lebensthätigkeit dieser Algen in ihrem Körper als festes Carbonat niedergeschlagen werden, wenn man sich vergegenwärtigt, in welch' immenser Massenhaftigkeit viele dieser Gewächse den Meeresgrund stellenweise bedecken. Habe ich mich bisher auch nur von der Grossartigkeit der submarinen Kalkinseln des Golfs von Neapel und der Umgebung der Insel Capri durch Autopsie überzeugen

können, so war dies doch hinreichend, in mir eine Vorstellung zu erwecken von der Ausdehnung und Mächtigkeit, welche die Ablagerungen von Pflanzen erzeugten Kalkcarbonats auf dem Meeresboden überhaupt haben mögen, eine Vorstellung zugleich von der Bedeutung, welche die Erforschung dieser Organismen für den Geologen mehr und mehr erhalten wird. Die von mir an den oben bezeichneten Orten des mittelländischen Meeres gesammelten Schätze sind so reich, dass ich mich veranlasst gesehen habe, dieselben monographisch im Verein mit mir von Fachgenossen freundlichst überlassenem Material anderweitiger Herkunft zu bearbeiten und die Resultate später zu veröffentlichen. Hier in dieser Schrift handelt es sich selbstredend nur darum, die bekanntesten Kalkalgen im Allgemeinen zu charakterisiren, die Art und Weise des Auftretens des Kalkcarbonats in ihrem Körper und die physiologische Funktion dieser Substanz zu discutiren, weshalb es nicht in meiner Absicht liegen konnte, etwa eine vollständige Aufzählung der bis jetzt bekannten Kalkalgen zu geben, sondern ich mich begnüge nur solcher Repräsentanten Erwähnung zu thun, welche bezüglich der Kalkablagerung wichtige Besonderheiten aufweisen. Zur Orientirung sei nur angeführt, dass die Kalkalgen grösstentheils den Ordnungen der *Florideen* (I) oder der *Chlorozoosporeen* (II) angehören, und zwar den Gattungen

I.

Squamariaceen: Peyssonelia.
Chaetangiaceen: Galaxaura.
Helminthocladiaceen: Liagora.
Corallinaceen: Melobesia, Lithophyllum, Lithothamnion, Amphiroa, Corallina.

II.

Codiaceen: Halimeda.
Acetabulariaceen: Acetabularia.
Dasycladaceen: Cymopolia. Neomeris. (Uteria nur fossil.)

Unter allen Kalkalgen nimmt *Acetabularia* eine überraschende Ausnahmestellung ein, insofern ihre Membran von zweierlei Kalksalzen zugleich incrustirt ist, vom kohlensauren und oxalsauren Kalk, und zwar so, dass die inneren Membrantheile fast ausschliesslich vom Oxalat, die äusseren vom Carbonat incrustirt sind, was schon daraus hervorgeht, dass beim Behandeln des Quer-

schnitts mit Essigsäure hauptsächlich die äussere Membran durchsichtig wird, bei darauffolgender Behandlung mit Salzsäure aber erst die innere ihre körnige Einschlüsse verliert. In Fig. 19 Taf. III habe ich ein Stück des Querschnitts durch den röhrigen Theil des Thallus von *Acetabularia mediterranea* dargestellt und zwar rechts im völlig intakten Zustand, links nach Behandlung mit Essigsäure. Im unteren Theil des Stiels, das lehrt die Untersuchung von Schnittserien, herrscht das Carbonat vor, welches nach oben hin allmälig abnimmt, um im Schirme dem oxalsauren Salze fast gänzlich den Platz zu räumen. In jüngeren Theilen prävalirt das Oxalat, in älteren das Carbonat; dieses wird in Form äusserst feiner Körner, jenes in Gestalt grösserer oder Krystalle abgelagert, was man ebenfalls aus Fig. 19 ersehen kann, denn nach Einwirkung von Essigsäure bleiben relativ grobkörnige Einlagerungen, an denen man mit starker Vergrösserung und bei Anwendung des Polarisationsmikroskopes den Krystallcharakter ermitteln kann, zurück.

Leitgeb[1], der in neuester Zeit die Incrustation der *Acetabularia*-Membran studirte, neigt der Ansicht zu, nur das Oxalat als ein von der *Acetabularia* selbst erzeugtes Abscheidungsproduct zu betrachten, das Carbonat aber in causale Beziehung zu bringen mit den zahlreichen auf *Acetabularia* epiphytisch lebenden Algen. Diese Auffassung muss ich nach meinen Erfahrungen als unhaltbar bezeichnen, weil man die oben erwähnte Vertheilung der Kalksalze auch an von Epiphyten freien Individuen eben so findet, weil ferner die Steigerung des Carbonatgehalts in den älteren Theilen des Thallus zu allgemein und regelmässig auftritt, als dass sie eine Folge zufälliger Ansiedlung von Epiphyten sein könnte. Auch deutet die Einlagerung sowohl des Carbonats als auch des Oxalats in dichten und weniger dichten Schichten auf einen innigen Zusammenhang der Ausscheidung beider Salze mit dem Membranwachsthum hin. Die äusserste und innerste Schicht des röhrigen Theils fand ich immer carbonatfrei; wären die aufsitzenden Epiphyten die Producenten des kohlensauren Kalkes (direct oder indirect), so würde doch wohl die denselben anliegende äusserste Membranpartie carbonathaltig sein, was von mir in keinem der darauf untersuchten Fälle beobachtet werden konnte.

[1] *Leitgeb, H.* Die Incrustation der Membran von Acetabularia. (Sitzungsber. d. K. Ak. d. Wiss. in Wien. 1887. Bd. 96.)

Es ist auch bei *Acetabularia* der incrustirende kohlensaure Kalk (wie der oxalsaure) ein Produkt des Stoffwechsels, dessen Quantität mit dem Alter der Membran allmälig wächst ebenso wie bei den übrigen Kalkalgen und anderen nicht so getauften Algen und vielen anderen Kryptogamen und Phanerogamen. Die intensive Einlagerung von Kalkcarbonat in die Membran ist eine allen Kalkalgen gemeinschaftliche Eigenthümlichkeit, aber diese ist nicht auf die mit jenem Namen belegten Algen beschränkt, sondern kommt auch anderen Algen zu. Es ist daher jede Abgrenzung der „Kalkalgen" eine mehr oder weniger willkürliche, eine unnatürliche und vollständig schwankende, denn es gibt kein Merkmal, welches ihnen allein zukäme; allein wie auf anderen Gebieten ist eine künstliche Abgrenzung erlaubt und nöthig und es ist ohne jeden Einfluss auf die Sache selbst, wo man die Grenze zwischen Kalkalgen und nicht als solche zu bezeichnenden hinlegt. Die Grenze wird um so wankender, je mehr unsere fortgesetzten Studien lehren, auf wie verschiedene Weise die Kalkalgen ihren kohlensauren Kalk deponiren, denn neben solchen, die letzteren nur innerhalb der Membran placiren, stehen andere, welche ihn auf der Oberfläche ganzer Organe oder einzelner Zellen auflagern und endlich solche, bei denen der kohlensaure Kalk einen Bestandtheil des Zellinhalts darstellt. Eine Auflagerung von kohlensaurem Kalk auf den gesammten Thallus ist den bereis p. 102 aufgezählten Algen-Gattungen eigen; *Chara hispida, aspera, equisetifolia, stelligera* etc. scheiden Kalkcarbonat ausser auf der Oberfläche auch noch zwischen Rinden- und Achsenzellen ab, *Chara fragilis* nur an letztgenannter Stelle. An sie schliessen sich daher ungezwungen die kalkführenden *Halimeda*-Arten an, bei welchen das Salz sich auf den Seitenwänden der Rindenschläuche absetzt, in solchen Mengen, dass auf Flächenschnitten die Rindenschläuche wie eingebettet in die Kalkmasse erscheinen, wie ich in Fig. 20—22 Taf. III angedeutet habe.

Der Kalk, der nur wenigen *Halimeden* (*H. macroloba* etc.) fehlt, tritt an bestimmten Stellen schon sehr frühzeitig auf und nimmt mit wachsendem Alter an Menge zu. Gewöhnlich bleiben die Aussenfläche und der oberste Theil der Seitenwände der Rindenschläuche kalkfrei, weshalb man diese Aussenwände zusammen als eine Cellulosehaut abziehen kann. Führt man etwas tiefer einen Flächenschnitt durch die Rindenpartie, so ist der Anblick desselben der Fig. 22 ähnlich; in den runden Maschen des Kalknetzes liegen

die Querschnitte der Rindenschläuche sss. Wenn wie bei H. *macrophysa* die Seitenwände der Rindenschläuche ganz bis an die Oberfläche des Thallus verkalken, dann lässt sich eine zusammenhängende Haut nicht mehr abziehen, dann trennen sich nach Behandlung mit Salzsäure die einzelnen Rindenschläuche von einander, während sie bei andern Arten an der Aussenfläche mit einander verwachsen bleiben. Die Zwischenlagerung von Kalkcarbonat, die mit dem Alter an Dicke immer zunimmt, besteht aus mikroskopisch kleinen Körnchen resp. Kryställchen, rechtwinklig zum Schlauchlumen gerichtet, wie aus dem optischen Verhalten zwischen gekreuzten Nicols hervorgeht. Dass wir es nicht mit einer Einlagerung zu thun haben, wie sie bei den sogleich zu betrachtenden Kalkalgen so häufig ist, folgt daraus, dass die Kalkmasse nach Behandlung mit Säure keinen Rückstand lässt, Nichts hinterlässt, was sich mit färbenden Reagentien tingiren liesse. An älteren *Halimeda*-Exemplaren findet man nicht selten auch die Gelenke verkalkt.

Sehr grosse Aehnlichkeit bezüglich der Verkalkung hat mit *Halimeda* die Gattung *Cymopolia*.[1] Zwischen den vielgliedrigen Wirteln von Seitenzweigen, welche den centralen Schlauch dieser Alge besetzen, scheidet sich eine Schleimmasse aus, die sich allmälig so stark mit kohlensaurem Kalk incrustirt, dass sie hart und brüchig wird, während die Membranen selbst kalkfrei bleiben wie bei *Halimeda*. Fig. 40 Taf. III stellt ein kleines Stück des centralen Schlauches der *Cymopolia barbata* (nach *Solms*) mit den Seitenzweigen besetzt dar. Die Kalkcarbonatmasse ist dunkel gehalten. Ganz analog sind die Verhältnisse bei *Neomeris*.[2]

Bei den Arten der Gattung *Galaxaura*, welche *Halimeda* insofern nahesteht, als bei ihr ein kalkfreies Mark ebenfalls von einer reiche Verkalkung zeigenden Rindenschicht umgeben wird, haben wir es mit einer Absonderung feinkörnigen oder krystallisirten Kalkcarbonats zu thun innerhalb der Zellwände. Gewöhnlich sind es drei Schichten, deren Zellen in den Wänden ganz verkalken; die Zellen der äussersten Rindenschicht lassen die Aussenwände und den grössten Theil der Seitenwände unverkalkt, weshalb man auch hier eine unverkalkte, gefelderte Cellulosehaut abziehen kann (siehe

[1] vide *Zittel, K. A.* Handbuch der Palaeontologie. p. 30 ff.

[2] *Solms-Laubach, H. Graf zu.* Einleitung in die Palaeophytologie. p. 38 ff.

Fig. 23 Taf. III); gewöhnlich wird auch bei *Galaxaura* der Kalk in Form sehr kleiner Körnchen eingelagert, doch ist das nicht ausnahmslose Regel, denn in einigen von mir im mittelländischen Meer entdeckten neuen *Galaxaura*-Arten, deren Beschreibung ich demnächst veröffentlichen werde, ist der Kalk in mikroskopisch nicht mehr sichtbaren Partikeln eingelagert und andrerseits gibt *Askenasy* von *Galaxaura rigida* bereits an, dass deren verkalkte Wände im Polarisationsmikroskop als ein Gewirr verschiedener starkglänzender, scharfkantiger Krystalle von sehr verschiedener Grösse und unregelmässiger, doch oft dem Rhomboëder sich nähernder Gestalt erscheinen. *Galaxaura rugosa* und *lapidescens* weisen bedeutend kleinere Kalkkörperchen auf und reihen sich mehr an die von mir zuerst angezogenen Beispiele an. (Fig. 23, 24, 25 Taf. III).

Bei der Gattung *Liagora* handelt es sich wie bei *Halimeda* um Auflagerung von kohlensaurem Kalk auf die einzelnen Rindenzellen, die dann wie in eine kalkige Grundmasse eingebettet erscheinen und nach dem Lösen des Carbonats frei werden und wie die Rindenschläuche von *Halimeda macrophysa* ohne seitlichen Zusammenhang sind.

Die kalkführenden *Peyssonelia*-Arten und sämmtliche *Corallinaceen* haben das gemein, dass bei ihnen der kohlensaure Kalk die sekundäre Verdickungsmasse gewisser Zellen oder Gewebe incrustirt, allerdings oft so stark, dass der organische Rest der verkalkten Membranen häufig bis zu einem Minimum herabsinkt. Trotzdem liegt eine Cellulosemembran allen Kalkmassen zu Grunde, weshalb wir an den verkalkten Schichten immer die Sculptureigenthümlichkeiten der gewöhnlichen sekundären Verdickungsschichten wiederfinden, Schichtung, Streifung, Tüpfelbildungen etc. Soweit die *Corallinaceen* differenzirte Rindenschichten besitzen, sind es die Zellen dieser, welche in besonders starkem Grade Kalk führen. Für *Peyssonelia* gilt dies auch in gewissem Sinne; auch bei ihr sind die untersten dem Substrat zugewandten Zellschichten meist kalkfrei, die nach aussen gewendeten sind mit Ausnahme der aller äussersten 3—4 mit eigenthümlichen incrustirten Schichten k k ausgestattet. Letztere bekleiden, wie dies in Fig. 29 Taf. III dargestellt ist, meist nur einen Theil der vertikalen Seitenwände und den peripherischen Theil der unteren Querwände, während die oberen Querwände ohne eine solche incrustirte Verdickungsmasse bleiben. Das Lumen der Zellen behält in Folge dessen oben seine ursprüngliche Weite bei, während es nach unten zu mehr und mehr

sich verengert und sozusagen in einen langen Tüpfelporus pp umgewandelt wird. Bildung anderer Tüpfel findet hier nicht statt. Als auffallende Erscheinung sei hier noch erwähnt, dass bei einigen *Peyssonelia*-Arten eine merkwürdige, nach oben convergirende Streifung der Verdickungsmassen auf Längsschnitten deutlich wahrnehmbar ist. Am wenigsten entwickelt ist die incrustirte Membranschicht bei den langen zonenartig geordneten Zellen im Innern des Thallus der *Corallina*-Arten. Die Verdickung erstreckt sich meist ganz gleichmässig über die ganze Innenwand dieser Zellen, nur unterhalb des oberen Endes gewahrt man bei vielen *Corallina*-Species grosse elliptische einfache Tüpfel in verschiedener Zahl. Bei den *Amphiroa*-Arten sind die stark verlängerten Innenzellen meist viel stärker verdickt und besitzen kleinere kreisrunde Tüpfel, ebenfalls in der Nähe des oberen Endes, etwa um 1/4 der Zelllänge von der oberen Querwand entfernt, ausserdem aber je einen ebenso beschaffenen Tüpfel an der oberen und unteren Querwand (siehe Fig. 31 u. 32).

Die *Melobesien* lagern ihren kohlensauren Kalk ausser in der Mittellamelle auch und zum grössten Theil in der sekundären Verdickungsmasse ein, die, vielfach von einfachen Tüpfeln durchsetzt, oft eine beträchtliche Dicke erreichen kann. In der Fig. 33 Taf. III habe ich zwei von den vertikal verlängerten Zellen aus dem Thallus von *Melobesia Cystosirae* in a im vertikalen Längsschnitt, in b und c lange, in der bekannten Art gebogene Zellen von oben gesehen abgebildet. lll die durch den Schnitt geöffneten Lumina der Zellen, tt die Tüpfel der unteren Seitenwände, p die Primärmembran, m die verkalkte Verdickungsmasse. Ganz ebenso ist im Allgemeinen die Verkalkung bei den *Lithothamnien* und *Lithophyllen*. Immer finden wir eine mehr oder weniger mächtige sekundäre verkalkte Verdickungsmasse mit feiner radialer Streifung und nach allen Seiten verlaufenden einfachen Tüpfeln. Für *Lithophyllum* scheint charakteristisch zu sein, dass man auf Längsschliffen neben den weiten Tüpfeln auch noch feinere nach den Ecken des Vierecks, als welches uns jede Zelle erscheint, verlaufen, wie es in Fig. 27, 28 u. 40 Taf. III angegeben ist, von denen 27 nach einem Längsschliff von *Lithophyllum incrustans*, 30 von *Lithophyllum expansum* gezeichnet ist. Bei *Lithothamnion* geht die Kalkeinlagerung genau ebenso von Statten, die verkalkten sekundären Membranen erscheinen auf Längs- und Querschliffen genau wie bei *Lithophyllum*, die zuletzt genannten feinen Kantentüpfel fehlen den

Lithothamnien wie es scheint durchgehends. Ich werde in meiner „Monographie der Kalkalgen“ auf dieses für die Systematik wichtige anatomische Merkmal ausführlicher zu sprechen kommen. Fig. 26, Taf. III ist eine Zellgruppe aus einem Flächenschliff durch den Ast von *Lithothamnion Racemus*. ttt Tüpfel, m Mittellamelle, k verkalkte Verdickungsmasse. Ganz besonders starke aber im Princip nicht abweichende Incrustation zeigen die Rindenzellen der *Corallinaceen*, nur die jüngsten Zellschichten sind kalkfrei.

Der Verkalkung der Membranen von *Acetabularia* gleicht die der Celluloseprismen der die jugendlichen Conceptacula verschliessenden Kalkprismenplatte der *Corallina*-Arten, indem auch sie durch Einlagerung feiner Körnchen von Kalkcarbonat vor sich geht, die an dünnen Präparaten eine braune Trübungsfarbe hervorruft, an dickeren vollständige Undurchsichtigkeit veranlasst.

FUNKTIONEN DES KALKCARBONATS IN DER PFLANZE.

So variabel die Erscheinungsform und der Ort des Auftretens des Kalkcarbonats im Pflanzenreiche ist, so wechselnd ist auch die physiologische und biologische Bedeutung dieses Salzes. Wenn letzteres aussen aufgelagert wird, so stellt es ohne Zweifel ein für den Stoffwechsel seines Producenten werthloses Excret dar; für den Stoffwechsel, sage ich, werthlos, nicht aber für die Existenz seines Erzeugers, denn in den Fällen, wo es in zusammenhängender Schicht ganze Organe überzieht, wird es zu einem trefflichen Schutzmittel gegen eine die Gefahr der Austrocknung mit sich bringende abnorm gesteigerte Transpiration, welche bei Bewohnern trockener, sandiger Standorte, wie die *Plumbago-*, *Statice-Saxifraga*-Arten zum grossen Theil sind, in das Bereich täglicher Vorkommnisse gehört. Wenn freilich die Excretion des Kalkcarbonats, dessen Wirksamkeit bei weitem nicht die wirklich hygroskopischer Salzgemische erreicht, wie wir sie bei *Reaumuria- hirtella*,[1] *Tamarix*-Arten, *Frankenia pulverulenta* und anderen Wüstenpflanzen kennen, nur in Form kleiner Schüppchen stattfindet, wie bei den früher angeführten *Saxifraga*-, *Pilea*- und *Farn*-Arten, dann kann von einer solchen Schutzfunktion wohl nicht mehr die Rede sein. Wie aus dem Zusammenhange des eben Gesagten hervorgeht, be-

[1] *Volkens, Georg.* Zur Flora der ägyptisch-arabischen Wüste. (Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin. 1886. VI. p. 70.)

trachte ich die Ausscheidungen von Kalkcarbonat bei den *Plumbago-*, *Saxifraga-* und einigen *Statice*-Arten nur insofern als Mittel, die Transpiration herabzusetzen, als sie eben mehr oder weniger dichte Ueberzüge auf der wasserabgebenden Epidermis bilden und eventuell Wasserspalten verstopfen und dieselbe Rolle kann dem kohlensauren Kalk auch nur zugeschrieben werden bei den Gewächsen, denen die excernirte Salzkruste dadurch ein viel wirksameres Schutzmittel wird, dass die in ihr neben dem Kalkcarbonat enthaltenen hygroskopischen Salze (Chlormagnesium, Chlornatrium, salpetersaures Natrium) wirklich Wasser aus der umgebenden Atmosphäre anziehen und festhalten. Zu diesen Gewächsen gehören vor Allem die *Reaumuria hirtella* der ägyptisch-arabischen Wüste, die im westlichen Kalaharigebiet häufige *Tamarix articulata Vahl.*[1] *Tamarix mannifera* etc., die im Süden Afrikas weit verbreiteten *Frankenia pulverulenta L.* und *Fr. capitata Webb.* und *Benth.*, die *Vogelia africana Lam.*, der felsige, den grössten Theil des Jahres hindurch trockene Standorte bewohnende Halbstrauch des Kalahari-gebietes und ausser den vorn genannten *Statice*-Arten noch folgende *Statice linifolia* L. des Kaplandes, *St. scabra Willd.* der Lagunen von Angra Pequena und die *St. rosea Smith* auf den Dünen des Nordufers der Tafelbai. Für *Tamarix articulata Vahl.*[2] kennen wir die Zusammensetzung der Salzkruste genau und der hohe Gehalt derselben an hygroskopischen Salzen (ca. 27 %) rechtfertigt vollkommen die Annahme, dass es sich bei dieser und ähnlichen Pflanzen um eine Herabsetzung der Transpiration durch Wasserniederschlag innerhalb der Salzkruste handelt. An eine Aufnahme von Wasser aus dem feucht gewordenen Salzgemisch durch das Blatt kann ich nicht glauben und schliesse mich in dieser Beziehung in allen Stücken den Ansichten *Marloth's* an; der für

[1] *Marloth, R.* l. c. 319 ff.

[2] Nach *Marloth's* Angaben ergab die Analyse der Salzkruste von *Tamarix articulata Vahl.* folgende Zusammensetzung derselben:

$Ca\ CO_3$	51,9
$Mg\ SO_4, H_2O$	12,0
$Mg\ Cl_2$	4,7
$Mg\ H\ PO_4$	3,2
$Na\ Cl$	5,5
$Na\ NO_3$	17,2
$Na_2\ CO_3$	3,8
	98,3.

eine Anzahl der genannten Pflanzen nachweisen konnte, dass dieselben, weil sie mit ihren Wurzeln genügend feuchte Bodenschichten erreichen, einer Wasseraufnahme durch oberirdische Organe gar nicht bedürfen. Sinkt die Menge hygroskopischer Salze sehr herab, so tritt die oben erwähnte einfache Schutzdeckenwirkung der Kruste mehr und mehr in den Vordergrund, zu welcher sich jedoch noch eine Reihe anderer Vortheile gesellen, welche den betreffenden Pflanzen zu Theil werden. Zunächst wird die weisse Farbe der Kruste die Insolationswirkung der Sonnenstrahlen in nicht geringem Grade herabmindern, sodann hält sicher der Ueberzug als schlechter Wärmeleiter die Einwirkung der umgebenden heissen Luft ab und ruft durch langsame Verdunstung der absorbirten Feuchtigkeit eine zeitweilige Abkühlung der darunter liegenden Gewebe hervor, Alles Vorgänge, durch welche die Energie des Transpirationsprocesses reducirt wird und welche das Kalkcarbonat, da es die Hälfte der Masse des Ueberzugs ausmachen kann, für seinen Theil mit unterhält.

Hierzu kommt noch eine andere nicht gering anzuschlagende Leistung des Salzüberzugs, nämlich die Pflanzentheile gegen feindliche Angriffe von Seiten der Thierwelt zu schützen. Man findet unter den in Rede stehenden Pflanzen selten Individuen, welche der Zerstörung durch irgendwelche Thiere anheim gefallen wären. Augenzeugen haben mich versichert, dass man mitten unter angefressenen Pflanzen die mit Salzpanzern ausgestatteten auffallend häufig unverletzt und intact antrifft und man müsse alle derartigen Schutzmittel als problematisch betrachten, wollte man diese Funktion des Salzüberzugs in Abrede stellen. Eine ähnliche Rolle spielt auch der auf ganz andere Weise erzeugte Kalkcarbonatmantel der submersen Wasserpflanzen. Die meist ganz lose aufliegenden Kalkkörner und Krystalle in den Blatthöhlen von *Lathraea Squamaria* müssen wir bis jetzt für ein unnützes Excret halten, das jedoch physiologisch von höchstem Interesse ist, weil es darauf hindeutet, dass mit der zum Parasitismus herabgesunkenen Lebensweise auch die vielen Pilzen besonders eigene reichliche Produktion von Kalkcarbonat sich einstellt, wogegen mit der intensiven Assimilation der höheren Chlorophyllpflanzen im Allgemeinen Oxalaterzeugung causal verknüpft zu sein scheint. Noch wissen wir freilich so viel wie Nichts über die Bedeutung des kohlensauren Kalkes beispielsweise in den Plasmodien der *Myxomyceten*, allein die Massenhaftigkeit, mit welcher dieser Inhaltskörper daselbst auftritt, sein zeit-

weiliges Verschwinden und Wiedererscheinen lassen vermuthen, dass er eine nicht unwesentliche Rolle im Stoffwechsel dieser Organismen spielt. Merkwürdig ist, dass die Kalkkörner im hautlosen Zustand des Organismus in grösster Menge vorhanden sind, dass sie ganz oder grösstentheils aufgelöst werden, wenn das Plasmodium zur Zellhautbildung sich anschickt, und dass sie nach deren Beendigung nur zum Theil wieder als auf- oder eingelagertes Excret erscheinen, der Ueberschuss aber aus dem Sporenplasma sorgfältig entfernt wird durch Transport nach Aussen oder Einkapselung in die Kalkblasen. So verlockend es auch ist, das Verschwinden der Kalkkörner mit der Zellhautbildung in Beziehung zu setzen, so ist doch mit den dahin gehenden Speculationen Nichts gewonnen, so lange, wie es hier der Fall ist, die experimentelle Bestätigung der hypothetischen Vorgänge fehlt.

In den Cystolithen erblickte ich, wie ich bereits an anderem Orte erwähnte, entweder Kalkspeicher, Reservebehälter für Kalk, der gelegentlich als Vehikel für Kohlehydrat zur Verwendung gelangen soll, was besonders zur Zeit der herbstlichen Entleerung der Blätter stattfindet, oder wie bei den *Acanthaceen* etc. Ablagerungsstätten für den bei der Zellbildung entstehenden primären Kalk, der sonst als primäres Kalkoxalat zur Ausscheidung zu kommen pflegt.

Incrustirt das Kalkcarbonat die Membranen der Epidermiszellen im weitesten Sinne des Wortes, so schreiben wir ihm eine wichtige Schutzfunction zu, die gegen Thierfrass; *Stahl*[1] hat neuerdings die früher bereits gesammelten, einschlägigen Beobachtungen durch Experimente ergänzt, so dass es jetzt zweifellos ist, dass mit Kalkcarbonat durchsetzte Membranen den Angriffen von Seiten kleiner Thiere, Insekten, Raupen, Schnecken einen weitgehenden Widerstand leisten und ich glaube, man könnte diesen thierischen Feinden auch eine ganze Reihe pflanzlicher anfügen, welchen ein Fuss fassen, ein Eindringen und Perforiren der Oberhaut durch deren Kalkgehalt erschwert oder unmöglich gemacht ist. Die Gestalt vieler Haarbildungen erhält erst einen Sinn, wenn die Membranen durch Verkalkung erstarren, alle die Spitzen, Haken und Widerhaken wären von gar keiner oder nur von sehr geringer Wirkung ohne Härtung durch Kalkincrustation, was man daraus am besten ersehen kann, dass man ihre Wirkungs-

[1] *Stahl, E.* Pflanzen und Schnecken. Jena 1888. p. 70.

weise nach Entfernung des Kalksalzes ermittelt: die Spitzen der Trichome weichen dem geringsten Drucke aus, die Haken biegen sich und sind nicht mehr im Stande etwas zu fassen oder festzuhalten. Zwar kann eine ansehnliche Härtung der Haare auch durch Verholzung (Lignineinlagerung) oder Cuticularisirung (Suberineinlagerung) erzielt werden, allein weit häufiger trifft man in der Natur hierzu die Verkalkung (resp. Verkieselung) angewandt, so dass man schon von vornherein bei einer ganzen Reihe verschieden gestaltiger Haare aus ihrer Verzierung mit Stacheln und Haken auf Kalkincrustation (resp. Verkieselung) schliessen kann. Die gemshornförmigen Haare, die einfach nadel-, messer- oder schwertförmigen, die sogenannten Feilhaare, durch vorspringende Knötchen feilenartig rauh, die Trichome, welche über und über besetzt sind mit Häkchen und Widerhäkchen erweisen sich in der Regel verkalkt.

Festigend, also mechanisch, wirkt die Kalkcarbonatinfiltration auch bei den Kalkalgen. Diese leben zum weitaus grössten Theil in ansehnlichen Tiefen. 50—70 m unter dem Meeresspiegel liegen die kolossalen Massen von *Lithothamnien*, *Lithophyllen*, *Peyssonelien* etc. der Seecen des Golfes von Neapel und auch anderwärts findet man diese korallenähnlichen Vertreter des Pflanzenreichs in ähnlichen Tiefen, womit nicht gesagt sein soll, dass es nicht auch solche giebt, die wie *Lithophyllum cristatum* etc. mehr in der Nähe der Oberfläche, der Fluthgrenze Felsen und Klippen bewohnen. Bei jenen ist nun die zur Unterhaltung des Assimilationsprocesses nöthige Belichtung die denkbar schlechteste, denn das Sonnenlicht kommt in solchen Tiefen ausserordentlich geschwächt und verändert an. Sind nun auch die Tiefsee-Formen durch den Besitz eines rothen Farbstoffs ganz besonders dem blaugrünen Rest des sie erreichenden, sie spärlich bescheinenden Lichtes angepasst, so kann doch von einer energischen Assimilation dieser Gewächse um so weniger die Rede sein, als auch die Quantität dieses Farbstoffs nach meinen Untersuchungen, deren Resultat ich gelegentlich publiciren werde, eine ausserordentlich geringe ist. Eine derartig erschwerte Assimilationsthätigkeit muss naturgemäss ein äusserst langsames Wachsthum zur Folge haben, denn die geringe Menge producirter Cellulose reicht nicht weit. Jedem langsam wachsenden Organismus, dem von allen Seiten Gefahren drohen in Gestalt vernichtender chemischer und mechanischer Eingriffe und welcher noch ausserdem so zart ist, wie die Kalkalgen ohne Kalkcarbonat es thatsächlich wären, würde ein sicherer Untergang beschieden

sein. Nur durch die Erstarrung ihres haltlosen Cellulosegerüstes in Folge intensiver Kalkeinlagerung, die bei noch lebenden Individuen bis zu 85 p. c. steigen kann, sind die Tiefseekalkalgen im Stande, den Kampf um's Dasein zu bestehen. Ihnen leistet der kohlensaure Kalk ihrer Membranen denselben wichtigen Dienst, wie der phosphorsaure Kalk der Knochen dem Thier und Menschen, ja mehr noch, denn während das thierische Skelett die edlen Organe nur schlecht bedeckt und verhüllt und Raum genug zwischen seinen Theilen lässt für einen tödtlichen Hieb oder Stich, so ist der Kalkpanzer unsrer Algen meist lückenlos, ein fester Harnisch, der auch den heftigsten Angriffen feindlicher Organismen trotzt.

CALCIUMPHOSPHAT.

Es ist eine auffallende Thatsache, dass im Pflanzenkörper, der wie bekannt, meist ansehnliche Mengen von Phosphorsäure und Kalk nebeneinander enthält, so selten beide vereint als phosphorsaurer Kalk in fester Form zur Ausscheidung kommt. Es mag dies daher kommen, dass das zweifache saure phosphorsaure Calcium in kaltem Wasser vollständig löslich ist und das neutrale und einfach saure Salz, in Wasser zwar vollkommen unlöslich, doch in Kohlensäure haltigem Wasser, in manchen Salzlösungen, in Salzsäure, Salpetersäure, Essigsäure und vielen organischen Säuren leicht gelöst werden. Es ist somit innerhalb der Pflanzenzelle wohl wenig Gelegenheit zur Ausscheidung in fester Form vorhanden und es bedarf künstlicher Mittel, das in Lösung befindliche Calciumphosphat zum erstarren zu bringen, wozu meist einfaches Behandeln des betreffenden Pflanzentheils mit Alkohol genügt. Es ist durch die neueren Untsrsuchungen von *Hansen*, *Leitgeb*, *Schaarschmidt*, *Kolderup-Rosenvinge* und Anderen bekannt, dass man Calcophosphatsphärite erhält, wenn man mit Alkohol längere oder kürzere Zeit behandelt: *Dahliaknollen,* Theile der cactusähnlichen Arten der Gattungen *Euphorbia (E. trigona, E. helioscopia, canariensis, grandidens, mamillosa, globosa, splendens, officinarum, lorica, caput medusae.)* [1], ferner die oberirdischen Organe von *Galtonia (Hyacinthus) candicans* und *Mesembryanthemum*-Arten [2], von *Stapelia* (*patula* etc.), von *Ceropegia* (*stapeliaeformis*

[1] *Hansen*, *A.* Ueber Sphaerokrystalle. (Arbeiten a. d. bot. Institut in Würzburg. Bd. III. p. 95 ff.)

[2] *Kolderup-Rosenvinge*, *L.* Sphärokrystalle hos *Mesembryanthemum. [Mesembryanthemum echinatum, spectabile, deltoides, verruculatum,*

etc.) Wedelstiele von *Angiopteris evecta* und *Marattia cicutaefolia*[1] etc.

Die von manchen Autoren (*Wiesner* etc.) noch neuerdings als phosphorsaurer Kalk angesprochenen Krystalle im Holze und der Rinde des Teakholzes (der *Verbenacee Tectona grandis L.)* sind nach meiner Prüfung[2] nichts Anderes als oxalsaurer Kalk (Fig. 38, 39 Taf. III).

Die Vermuthung *Nobbe's*[3], in den Blättern von *Soja hispida* und *Robinia Pseudacacia* finde sich phosphorsaurer Kalk in fester Form ausgeschieden, kann ich ebenfalls nicht bestätigen; ich habe immer nur Kalkoxalat (cf. p. 89) gefunden, womit nicht gesagt sein soll, dass ich an der Richtigkeit obiger Angabe zweifle; es mögen die Wasserkultur-Exemplare genannter Pflanzen, an welchen das exceptionelle Vorkommen des Calciumphosphats constatirt wurde, sich abweichend verhalten können von den in freier Natur erwachsenen, welche ich der Untersuchung unterworfen habe.

Das Auftreten phosphorsauren Kalkes in fester Form im Pflanzenreich reducirt sich hiernach darauf, dass er einen Bestandtheil der *Globoide* ausmacht, welche wir als kuglige Körper in den Proteïnkörnern finden und für welche die chemische Analyse ergiebt, dass sie aus einer Verbindung von Kalk und Magnesia mit einer gepaarten Phosphorsäure bestehen. Sie fehlen in keinem Samen, nur sind sie oft winzig klein, während sie in manchen Samen zu grösseren kugligen oder traubigen Gebilden werden,

---

cordifolium, *pustulatum*, *muricatum*, *retroflexum*, *heterophyllum*, *crassifolium*, *barbatum*, *lineolatum*, *violaceum.]* (Videnskabelige Meddelelser fra den naturhistor. Foren. i Kjøbnhavn 1877—1878. p. 305.)

[1] *Hansen*, *A.* Ueber Sphaerokrystalle. (Arbeiten a. d. bot. Institut in Würzburg. Bd. III. p. 95 ff.)

[2] Neutrales phosphorsaures Calcium ($Ca_3 [PO_4]_2$) ist in Essigsäure leicht löslich.

Einfach saures Salz ($Ca\ H\ PO_4 + 2\ H_2\ O$) ebenfalls.

Zweifach saures Salz ($Ca\ [PO_4\ H_2]_2 + H_2\ O$) ist in kaltem Wasser vollständig löslich und an der Luft zerfliesslich. Auch von meta- und pyrophosphorsaurem Kalk ist mir nicht bekannt, dass er längerer Einwirkung von conc. Essigsäure widersteht.

Da sich die Krystalle der *Tectona grandis* in conc. Essigsäure aber bestimmt nicht lösen, wohl aber sofort in Salzsäure und anderen Mineralsäuren, so ist für mich sicher, dass auch sie kein phosphorsaurer Kalk sind. Wenn die Asche dieser Pflanze trotzdem 29 p. c. Phosphorsäure (Thoms) enthält, so muss letztere eben irgendwo anders ihren Sitz haben.

[3] *Nobbe.* Landwirthschaftliche Versuchsstationen. 1879. p. 415.

deren Durchmesser bis zu 10 μ steigen kann. In der Regel macht das Volumen des einzelnen oder das Gesammtvolumen aller Globoide eines Aleuronkornes nur einen geringen Theil der Masse des letzteren aus, selten überwiegt deren Volumen, so bei *Silybum marianum, Coriandrum sativum, Aethusa Cynapium* etc. Globoide finden sich entweder allein im Aleuronkorn oder neben Krystalloiden. Mitunter umgiebt die Globoidenmasse Krystalldrusen von Kalkoxalat, so bei *Cissus antarctica,* oder Oxalatkrystalle und Globoide liegen nebeneinander *(Corylus avellana).* Bei *Lupinus luteus* erscheinen Globoide und Oxalatkrystalle zwar in derselben Zelle, aber in verschiedenen Proteïnkörnern, bei *Silybum marianum* enthalten die Proteïnkörner aus den Zellen in der Mitte jedes Samens vorwiegend Krystalle, aus Zellen von der Peripherie des Samens Globoide, ähnlich bei *Paeonia.*[1]

Durch ihre Löslichkeit in Essigsäure sind die Globoide leicht von den Krystalleinschlüssen und Krystalloiden zu unterscheiden; in kaltem und kochendem Wasser und Alkohol sind die Globoide vollkommen unlöslich, wogegen sie von allen anorganischen Säuren, Essigsäure, Weinsäure etc. leicht gelöst werden, wobei sie von aussen nach innen abschmelzen unter Hinterlassung einer zarten Niederschlagsmembran. Mit Jod, Anilinfarbstoffen, Eosin etc. behandelt bleiben sie farblos, sie wirken nicht auf polarisirtes Licht, auch nicht bei Einschaltung eines Gypsblättchens. Beim Erhitzen schwärzen sich die Globoide zunächst durch ihre ganze Masse und brennen sich erst bei Anwendung starker Hitze zu weisser Asche, die in Wasser unlöslich, in Säuren leicht und ohne Brausen löslich ist. Magnesia weist man nach, indem man zu Globoiden eine ammoniakalische Lösung von Chlorammonium und phosphorsaurem Ammoniak treten lässt und die bekannten Sargdeckel-Krystalle der phosphorsaurem Ammoniakmagnesia beobachtet, Kalk durch gleiche Behandlung mit ammoniakalischer Lösung von Chlorammonium und oxalsaurem Ammoniak, nach welcher der vorhandene Kalk in Form von Kalkoxalat auskrystallisirt. Versuche ergaben, dass in manchen Fällen der Kalk, in anderen die Magnesia prävalirt. Beide, Kalk und Magnesia scheiden sich in ihren Sulfaten als Nadeln aus, wenn man zu den Globoiden Schwefel-

[1] *Pfeffer, W.* Untersuchungen über die Proteïnkörner und die Bedeutung des Asparagins beim Keimen der Samen. (Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot. VIII. p. 430 ff.)

säure setzt, doch ist auf diese Weise eine getrennte Bestimmung beider Substanzen nicht möglich, da beide Sulfate in Wasser und besonders in schwefelsäurehaltigem Wasser löslich sind. Dass die Phosphorsäure der Globoide nicht eine gewöhnliche sein könne, folgt, wie *Pfeffer* seiner Zeit bereits nachwies, schon aus der Löslichkeit der Globoide in ammoniakalischer Solution von Chlorammonium und aus dem Ausbleiben der Krystalle von phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia. Es ist eine gepaarte Phosphorsäure, deren Paarling noch unbekannt ist, welche erst nach dem Verbrennen der Globoide in gewöhnliche Phosphorsäure übergeht und wie diese reagirt. Schwefelsäure und Oxalsäure in alkoholischer Lösung verdrängen die gepaarte Phosphorsäure und treten an ihre Stelle, haben beide also eine grössere Affinität zu den Basen als dieselbe. Während verdünntes Kali auf die Globoide nicht einwirkt, ziehen concentrirtes Kali und Ammoniak die Phosphorsäure aus denselben aus und rufen ein granulirtes Aussehen hervor. Kalk und Magnesia bleiben zurück. Jod und Anilinfarben tingiren merkwürdiger Weise nun und weisen auf Spuren von Eiweiss hin, welches im Hüllhäutchen und in dem häufig vorhandenen centralen Körnchen bei dieser Behandlung restirt.

Ausser in den Globoiden der Aleuronkörner kommt also Kalk an Phosphorsäure gebunden in der lebenden Pflanzenzelle nirgends in fester Form vor, sondern nur gelöst. Durch Alkohol lässt sich das Calciumphosphat in Gestalt von Sphaeriten abscheiden. Mitunter ist das Calciumphosphat durch Magnesiumphosphat vertreten *(Sacharum officinarum)*.

CALCIUMSULFAT.

Nicht viel anders wie mit dem Calciumphosphat verhält es sich mit dem Sulfat.

Das Kalksulfat zeigt sich trotz seiner Schwerlöslichkeit in Wasser und seiner häufigen Anwesenheit in gelöster Form ebenfalls ausserordentlich selten in festem Aggregatzustand im Pflanzenkörper und die meisten der früher für schwefelsauren Kalk angesprochenen Gebilde haben sich im Lauf der Zeit als etwas Anderes entpuppt. Mit Sicherheit ist dieses Kalksalz nur in einigen Algen und Farnen, sowie im Zuckerrohr constatirt.

A. Fischer[1] wies das regelmässige Vorkommen von Gypskrystallen für die meisten *Desmidiaceen* nach, für welche die Ausscheidung von schwefelsaurem Kalk als eine physiologische Eigenthümlichkeit zu betrachten ist, wenn sich auch die einzelnen Gattungen dieser Algenfamilie bezüglich ihres Gypsgehaltes verschieden verhalten. Ein Theil führt stets in gesunden Zellen Gypskrystalle, ein anderer nicht immer, aber in der Mehrzahl der Fälle, während ein dritter Theil Gyps nicht in fester Form ausscheidet, sondern wahrscheinlich nur gelöst enthält. Untersucht wurden die Gattungen *Closterium, Cosmarium, Micrasterias, Euastrum, Staurastrum, Desmidium, Hyalotheca, Pleurotaenium, Penium, Tetmemorus.* Die Gypskryställchen der *Desmidiaceen* liegen im Zellsaft der Endbläschen und entstehen wahrscheinlich in den Rinnen zwischen den Leisten des Chlorophyllkörpers, von wo aus sie den Endbläschen, die keine geschlossenen Vacuolen sind, zugeführt werden. Die Bewegung dieser Krystalle ist combinirt aus der Molecularbewegung und einer durch die Plasmastauung hervorgerufenen Strudelbewegung des Zellsaftes der Endbläschen. Auch bei *Spirogyra*[2] *nitida* und einigen anderen Arten dieser Gattung sind Gypskryställchen sowohl im Zellsaftraum als auch im Plasmabeleg gesehen worden.

Ziemlich häufig fand *Askenasy*[3] prismatische langgestreckte beiderseits zugespitzte Krystalle in den Zellen der *Codiee Chlorodesmis comosa Bailey et Harvey.*

Bei *Angiopteris (A. evecta* und *australis), Marattia (M. cicutaefolia* und *Cooperi)* und dem Zuckerrohr finden sich in lebenden Zellen sehr kleine tafelförmige Krystalle, welche aus Gyps mit eventueller Beimengung von Magnesiasulfat bestehen.[4]

Das für gewöhnlich in Lösung befindliche Calciumsulfat ist in sehr wechselnder Quantität in den Pflanzenzellen vorhanden und kann eben deshalb nicht immer durch Einwirkung von Alkohol in fester Form ausgefällt werden, sondern, wie es scheint,

---

[1] *Fischer, Alfred.* Ueber das Vorkommen von Gypskrystallen bei den Desmidieen (Pringsheim's Jahrb. für wiss. Bot. Bd. XIV. 1883. H. 2. p. 133—184 mit 2 Tafeln.)

[2] *Berthold, G.* Studien über Protoplasmamechanik. p. 58.

[3] *Askenasy, E.* Forschungsreise S. M. S. „Gazelle". IV. Theil. Botanik. p. 10.

[4] *Hansen, A.* Ueber Sphaerokrystalle. (Arb. d. Bot. Instit. in Würzburg. Bd. III. H. 1. p. 92—123).

nur nach einer gewissen Anreicherung in der Zelle. So fand *Hansen*[1] Sphaerokrystalle von Calciumsulfat in reichlicher Menge im gesammten Holzgewebe von *Hebeclinium macrophyllum Dec. (Compositae-Eupatorineae)*, besonders in dessen jungen Holzzellen, welche sich nach Alkoholbehandlung ganz mit Sphaeriten anfüllten; *Leitgeb*[2] ebensolche in den Knollen von *Dahlia* neben Inulin- und Calciumphosphat-Sphaeriten etc.

PHYSIOLOGISCHE UND BIOLOGISCHE FUNKTIONEN DES KALKOXALATS.

Der oxalsaure Kalk muss in der Pflanze verschiedenartige aber bedeutungsvolle physiologische oder biologische Dienste leisten, das dürfen wir schon aus seiner grossen Verbreitung im Pflanzenkörper und aus seiner wechselnden Erscheinungsform folgern; aber wir sind auch berechtigt, weiter zu schliessen, dass dies Dienste sind, deren bestimmte Pflanzen entbehren können, weil ihnen eben das Kalkoxalat vollständig fehlt, weil es bei ihnen niemals weder im Laufe ihrer natürlichen Entwicklung noch bei Anwendung gewisser Reagentien zur Ausscheidung dieses Salzes kommt.

Schon bezüglich der physiologischen Funktion des Kalkoxalats ist eine gewisse Vielseitigkeit nicht zu verkennen, denn es ist das Salz einmal Excret und wird als solches auf oder in der Zelle oder in deren Membran abgelagert, auf jeden Fall dem Stoffwechsel entzogen und bleibt für die späteren chemischen Umsetzungen im Pflanzenleib verloren oder es stellt ein Secret dar. Als Excret in die Membran eingebettet, leistet es der Pflanze noch den wichtigen Dienst, die Festigkeit der betreffenden Membran nicht unwesentlich zu erhöhen; an eine Theilnahme an Stoffwechselvorgängen denkt man bei dem der Zellhaut eingelagerten Oxalat ebensowenig, wie bei dem nach aussen ausgeschiedenen; allein auch im Zelllumen erzeugtes Salz kann von dem Stoffwechsel für immer ausgeschlossen werden, wenn es mit einer Cellulosehülle umgeben wird. Die *Rósanoff*'schen Drusen und

[1] *Hansen, A.* Ueber Sphaerokrystalle. (Arb. d. Bot. Instit. in Würzburg. Bd. III. H. 1. p. 92—123.)

[2] *Leitgeb.* Nach brieflichen Mitth. an *Strasburger.* cit. *Strasburger*, Das bot. Practicum. p. 77.

die mit Zellhaut umgebenen Einzelkrystalle habe ich niemals sich verändern sehen, sie scheinen durch ihre Hülle vor den lösenden und zersetzenden Einflüssen der flüssigen Agentien des Pflanzenkörpers geschützt zu sein und ebenfalls veritable Excrete vorzustellen. Unterbleibt aber die Ausbildung eines solchen Schutzmantels, so können jederzeit die Bestandtheile des Salzes wieder in den Stoffwechselprocess eintreten, das Oxalat ist dann nicht mehr Excret sondern Secret. Ich folge bei der Unterscheidung zwischen Secret und Excret mehr der in der Etymologie dieser Worte ruhenden Differenz, als bisher geschehen, indem ich Secret anwende für Substanzen, welche abgesondert werden um gelegentlich wieder an den das Leben der Pflanzen bedingenden chemischen Umsetzungen theilzunehmen, während ich als Excret jeden Stoff bezeichne, der ein für alle Mal ausgeschieden ist aus dem Stoffwechsel. Nectar, aetherische Oele, Harze, Gerbstoffe[1] sind Excrete, welche niemals wieder an den Lebensprocessen participiren, auch wenn sie etwa, wie der Gerbstoff, wandern; Stärkekörner, Eiweisskrystalloide etc. können wir Secrete nennen, weil sie gelegentlich wieder chemisch activ werden. Das secernirte Calciumoxalat kann auch als Kalkspeicher definirt werden, insofern es hauptsächlich der Kalk ist, dessen Wiedereintritt in den Stoffwechsel von Bedeutung ist, was für die Oxalsäure oder deren Derivate zu behaupten wir noch keine Belege haben; der excernirte oxalsaure Kalk hingegen ist chemisch-physiologisch werthlos, seine Rolle kann nur noch eine mechanisch-physiologische oder aber eine biologische sein. So ist er ein oft verwendetes Festigungsmittel für Membranen wie das Kalkcarbonat, die Kieselsäure etc., denn man kann sich leicht davon überzeugen, dass Pflanzenorgane nach Entfernung des den Membranen eingelagerten Oxalats eine geringere Festigkeit haben als vorher, so die Bast- und Spicularfasern vieler Pflanzen, die *Nymphaeen*-Haare, *Acetabularia* etc. Die Blätter von *Dracaena*-, von *Mesembryanthemum*- und *Sempervivum*-Arten und der vorn genannten *Nyctagineen* verrathen schon bei einer Prüfung mit den Fingern eine beträchtliche Festigkeit gegenüber den ähnlichen Blattorganen verwandter Pflanzen, welchen die Kalkoxalateinlagerung in die Epidermis-Membranen fehlt. Ganz dasselbe gilt von Pericarpien etc. Eine andere rein physi-

[1] *Kraus, Gr.* Grundlinien zu einer Physiologie des Gerbstoffs. Leipzig 1889.

kalische Funktion dictirt *Penzig*[1] dem Kalkoxalat zu, welches in den Blättern der *Hesperideen* in Form aufgehängter Einzelkrystalle mit ganz bestimmter Orientirung sich findet, indem er in diesen Reflexionsapparate erblickt, welche zu besserer Ausnutzung das einfallende Licht nach allen Seiten in das benachbarte Palissadenparenchym reflectiren. Dass die mit ihrer Längsachse, wenn ich die Verbindung der am weitesten von einander entfernten Krystallecken einmal so nennen darf, senkrecht zur Blattfläche stehenden Krystalle in ausgezeichneter Weise von aussen auffallendes Licht nahezu horizontal reflectiren, ist theoretisch leicht zu construiren, aber auch praktisch nachzuweisen, wenn man bei schwacher Vergrösserung Tangentialschnitte unter dem Miksroskop betrachtet, Schnitte, bei welchen obere Blattepidermis und Palissadengewebe abgetrennt sind. Man gewahrt alsdann um jeden Krystall einen Lichthof, dessen Entstehung wir der reflectorischen Wirkung der Krystallflächen zuschreiben müssen. Gegen diese Auffassung kann nicht zeugen, dass die Krystalle auch an der Unterseite des Blattes vorhanden sind, wenn auch in geringerer Zahl, denn auch dahin dringt noch Licht genug und es muss als ganz besonderer Vortheil für die Pflanze erkannt werden, wenn auch diese verminderte Lichtmenge durch die kleinen Reflectoren noch vollständig ausgenutzt wird; ebensowenig kann ich in der Existenz der Krystalle unter der Epidermis der Blattstiele und jungen Zweige, und in gar nicht vom Licht getroffenen Geweben (Mark) eine Schwierigkeit oder eine Widerlegung obiger Anschauung erblicken, denn Blattstiele und Zweigrinde assimiliren genau ebenso wie die Blätter und was die Krystalle in tiefer gelegenen Geweben anlangt, so scheint mir gerade die denselben fehlende regelmässige Orientirung dafür zu sprechen, dass eine Reflexion der Lichtstrahlen in bestimmter Richtung zwecklos wäre, wonach nun gerade die peinlich genaue Stellung der oberflächlich gelegenen Krystalle um so mehr weil vortheilhaft, als angezüchtet erscheinen muss. Es liesse sich nun freilich eine Erklärung für die bestimmte Orientirung dieser Krystalle in der einseitigen Stoffzuleitung finden, welche bei tiefer gelegenen in eine allseitige übergeht, allein wir haben für die Stichhaltigkeit dieser Annahme nicht triftigere Gründe als gegen

[1] *Penzig*, *O.* Ueber die Gegenwart von Beleuchtungsapparaten im Innern gewisser Pflanzen. (Atti d. Soc. d. Naturalisti. Modena 1883. ser. III. vol. 1. 8°. 7 p.)

die der anderen, für welche noch die Anatomie einige Wahrscheinlichkeitsgründe liefert. Dieselbe constatirt nämlich eine auffallende Coincidenz zwischen Palissadenzellen- und Krystallbildung; allen *Aurantiaceen*, bei welchen das Palissadengewebe schwach entwickelt ist (*Murraya, Cookia, Glycosmis* etc.), fehlen auch die Refractionsorgane, während alle Blätter mit stark ausgebildeten Palissadenzellen (*Citrus, Aegle, Athalantia, Limonia*) dieselben in beträchtlicher Anzahl enthalten. Ferner spricht für diese optische Leistung der Krystalle das Ausbleiben der rothvioletten Färbung der Epidermiszellen jugendlicher Blätter gerade über den krystallhaltigen Idioblasten.

Die festigende Wirkung des Kalkoxalats ist sicher nicht auf das den Membranen incorporirte Salz beschränkt, sondern auch die als Inhaltskörper auftretenden Krystalle können in bestimmten Fällen dasselbe leisten. So werden besonders die langen prismatischen Krystalle, welche, einzelnen oder zu mehreren nebeneinander, bei vielen Monocotylen in langen Reihen dem Grundgewebe der Blätter und Stengel eingefügt sind, nicht unbeträchtlich zur Aussteifung der betreffenden Organe beitragen, stecken sie doch häufig fast unbeweglich in ihren Zellen, nicht viel anders als wären sie mit den Membranen fest verbunden und in letzterem Falle würde man keinen Augenblick anstehen, ihnen eine mechanische Rolle zu ertheilen. Die in die Luftkanäle zahlreicher Wasserpflanzen ragenden Prismen spielen nach meinen Beobachtungen zweifellos oft die Rolle wirksamer Streben, wenn sie auch nebenher, wie unten angeführt ist, noch anderen Zwecken dienen mögen. Selbst die Rhaphidenbündel dürften mitunter eine mechanische Bedeutung haben; so z. B. wenn sie dicht gehäuft die Randzellen der Blätter erfüllen wie z. B. bei *Testudinaria elephantipes* etc. Mit Recht wird man auch dem Kalkoxalat in Samenhäuten und Pericarpien einen nicht unbedeutenden Antheil an der Festigung ihrer Gewebe zuschreiben dürfen, besonders da auch hier häufig die Krystalle die Lumina der Zellen ganz ausfüllen, also gleichsam ein Ganzes mit deren Membranen bilden (vergl. z. B. Fig. 32 Taf. II).

Die biologische Bedeutung der Kalkoxalatkrystalle ist schon jetzt, da man sich noch sehr wenig mit derartigen Fragen beschäftigt hat, eine überaus mannigfaltige. Die Rhaphiden sind

durch *Stahl*[1] als ausserordentlich wirksame Schutzmittel gegen Thierfrass erkannt. Schnecken, die gefährlichsten Pflanzenfeinde und zahlreiche andere Thiere fressen Rhaphidenpflanzen überhaupt nicht oder ungern und verzehren oft nur deren nadelfreie Theile, die Rhaphiden führenden Zellen vorsichtig umgehend. Der brennende Geschmack des Saftes vieler Pflanzen rührt, wovon man sich leicht überzeugen kann, von den darin enthaltenen Rhaphiden her, welche durch den sie einhüllenden, aufquellenden Schleim aus ihren Behältern hervorgetrieben werden und sich wie feinste Nadeln in Zunge und Gaumen einbohren. Durch Filtration von den Rhaphiden befreiter Saft hat durchaus milden Geschmack.

Unmittelbar an die Rhaphiden schliessen sich in ihrer Wirkungsweise als Schutzmittel die grossen Kalkoxalatkrystalle an, welche in den Brennhaaren einiger Pflanzen als Stichwaffe functioniren. Ein interessantes Beispiel hierfür bieten die Brennhaare der brasilianischen *Euphorbiacee Tragia volubilis*,[2] jener durch den Dimorphismus ihrer Blüthen ausgezeichneten Pflanze. Jedes ihrer Haare besteht aus drei langen, nebeneinanderliegenden, dickwandigen Zellen und einer diesen aufsitzenden, spitzigen, zartwandigen Endzelle, welche einen oder bisweilen zwei grosse Spiesskrystalle von oxalsaurem Kalk einschliesst. Bei jeder unsanften Berührung der Haarspitze bohrt sich der Krystall durch die dünne Membran der Endzelle hindurch in die Haut ein und verursacht, in der Wunde stückweis sitzenbleibend, ein unangenehmes Jucken. Noch ist es nicht bekannt, ob gleichzeitig ein flüssiges Gift vom Haar entleert wird.

Nach den Versuchen von *Stahl* functioniren auch die grossen, bisweilen 0,5 μ langen, an beiden Enden zugespitzten Oxalatprismen, welche in den Vegetationsorganen von *Iris*-Arten in beträchtlicher Zahl vorkommen, als mechanische Schutzmittel gegen Schneckenfrass. Auch für die bekannten, beiderseits zugeschärften Krystalle der *Pontederien*, welche die Diaphragmazellen, in denen sie liegen, zu durchbrechen scheinen und wie Lanzenspitzen in die Hohlräume hineinragen, dürfte es zweifellos sein, dass sie das Zerstörungswerk in die schwammige Pflanze eingedrungener Thiere bedeutend verlangsamen müssen. Der experimentelle Nachweis

[1] *Stahl*. Ueber die biologische Bedeutung der Rhaphiden. (Sonderabdruck a. d. Sitzungsberichten für Naturw. u. Medicin. 19. Nov. 1886. Jena.)

[2] *Johow*. (Sitzungsber. d. Niederrh. Ges. für Natur- und Heilkunde zu Bonn. 4. Juni 1888.)

der Richtigkeit dieser Annahme ist bei besagten Pflanzen dadurch vereitelt, dass sie ausser den grossen Nadeln noch gewöhnliche Rhaphiden und gerbstoffreiche Idioblasten führen, welchen eine gleiche Schutzfunktion zukommt.

In die Aussenwände der Epidermiszellen eingelagertes Kalkoxalat wird der betreffenden Pflanze ebenfalls nicht nur eine gewisse Immunität gegen Thierfrass verleihen, sondern ebenso gegen das Eindringen und Festsetzen parasitischer Pilze, deren Keimschläuche, wie man weiss, oft ausserordentlich wählerisch bezüglich der Qualität der zu durchsetzenden Zellhäute sind.

ANHANG ZU DEN KALKSALZEN.

Literatur, welche sich auf Calciumoxalat bezieht, chronologisch geordnet. (Schriften, in denen das Calciumoxalat nur ganz beiläufig behandelt wird, sind hier weggelassen und nur vorn in den Fussnoten verzeichnet.)

Malpighi, Marc. (Opera omnia. Lugduni Batavorum. 1687. p. 52. Tab. 20. Fig. 105 E.) *M.* sah zuerst Krystalldrusen.

Leeuwenhoek, Anton von. (Epistolae physiologicae. Delphis. 1719. Epistola 44. p. 417.)

L. kannte bereits mehre Krystallformen, so auch die Nadeln, welche nach *Lindley* zuerst *Rafn,* nach *Schleiden Jurine* entdeckt haben soll.

Scheele (Chemische Annalen von Dr. Lorenz Crell. Bd. I. 1785. p. 19) stellte die erste chemische Untersuchung von Pflanzenkrystallen an und meldete 1785 der schwedischen Akademie, dass in Cort. Ligni sancti wie im Rhabarber oxalsaure Kalkerde enthalten sei (nach *Flückiger*).

Fourcroy (Chem. Annalen von Crell. Bd. I. 1794. p. 421) constatirte, dass „zuckersaure Kalkerde" (aus Zucker dargestellte Oxalsäure) sich in Salpetersäure ohne Zersetzung auflöst und aus warm gesättigter Lösung beim Erkalten auskrystallisirt.

Rafn (Entwurf einer Pflanzenphysiologie, aus dem Dänischen übers. von *Markussen* 1798. p. 88) fand Krystalle von Calciumoxalat in mehreren Euphorbiaceen.

Jurine. (Journal de Physiologie 1802.)

Link (Grundlehren der Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Göttingen 1807. p. 97. Nachträge 1809 p. 30) wies die Unlöslichkeit der Krystalle in Wasser, Alkohol und Alkalien, ihre Löslichkeit in Salpetersäure nach.

Rudolphi (Anatomie der Pflanzen. Berlin 1807. p. 118) bestätigte die Unlöslichkeit in Wasser und Alkohol.

Buchner (Neues Jahrbuch der Pharmacie von S. W. Döberreiner. Berlin 1811. Bd. 1. p. 25) behauptet, das „krystallinische Salzmehl" von Scilla maritima bestehe aus Calciumphosphat.

Sprengel (Von dem Baue und der Natur der Gewächse. Halle 1812. p. 229) erklärt die Kalkoxalat-Nadeln für krystallisirten „Zuckerstoff".

Kieser (Grundzüge der Anatomie der Pflanzen s. Elemente der Phytotomie. Jena 1815. p. 53) entdeckte eine Anzahl Rhaphidenpflanzen.

Alphons de Candolle (Mémoires de la société de Physique et d'hist. naturelle de Génève. t. 3. sec. partie. 1826. p. 115) beschrieb die nadelförmigen Krystalle, ohne ihre Krystallnatur zu kennen, und nannte sie „Rhaphides".

Aug. P. de Candolle. (Organographie végétable ou description raisonnée des organes de Plantes. Paris 1827. Chap. XIII.)

Raspail (Mémoires de la société d'histoire naturelles de Paris. t. 4. p. 205. Juin 1827) weist mikrochemisch oxalsauren Kalk in den Krystallen von Pandanus, Iris florentina und germanica nach. Später (Septembre 1828) nimmt er diese Behauptung für Pandanus zurück, welcher neben vielen anderen Pflanzen phosphorsauren Kalk enthalten soll. In Rheum fand er Kalkoxalat.

Meyen (Anatomisch-physiologische Untersuchungen über den Inhalt der Pflanzenzelle. Berlin 1828. p. 59) tritt *Rafn,* der die Krystalle in Lufthöhlen oder Intercellulargänge verlegte, entgegen mit der Angabe, sie seien stets in Zellen eingeschlossen; er zählte eine ganze Reihe von Krystallformen auf und beobachtete später (Phytotomie. Berlin 1830. p. 168) die anatomische Verbreitung der Krystalle in Ficus elastica.

Nees von Esenbeck (Repertoire für die Pharmacie von Dr. Buchner. 1832. Bd. 42. p. 91) theilt mit, dass die Krystalle in Rad. Machaocannae phosphorsaure Kalkmagnesia seien, welches Salz er nach späterer Mittheilung (Flora. 1835. Nr. 26. p. 411) auch in den Wurzeln von Mirabilis longiflora, Mirabilis Jalappa etc. gefunden haben will.

Unger (Exantheme der Pflanzen. Wien 1833. p. 10) bestätigt Meyen's Angaben über das Auftreten der Krystalle in den Zellen.

Brogniart (Nouvelles Annales du Muséum d'histoire naturelle. Paris 1834. t. 3. p. 145) wie *Unger.*

Meyen. (Ueber die neuesten Fortschritte der Anatomie und Physiologie der Gewächse. Harlem 1836.)

Treviranus, Ludolph Chr. (Physiologie der Gewächse. Bonn 1835. p. 45) findet die Rhaphiden von Cypripedium insigne, Neottia discolor etc. in den Zwischenzellräumen.

Meyen (Neues System der Pflanzenphysiologie. Berlin 1837. p. 213) widerlegt *Treviranus* und enthüllt *Turpin*'s „Biforines" als Rhaphidenzellen.

Unger (Annalen des Wiener Museums der Naturgeschichte. 1840. Bd. II. p. 4) beschrieb eine grosse Anzahl von Krystallen genau und bildete charakteristische Formen ab.

Brooke (Philosophical Magazin and Journal of Science. London 1840. Vol. 16. p. 449) theilte mit, dass oxalsaurer Kalk als Mineral gefunden sei (später Whewellit genannt) und gab die (von Miller gemachte krystallonomische Bestimmung desselben an.

Quecket's Abhandlung über Pflanzenkrystalle wurde abgedruckt in *John Lindley:* An Introduction to botany, London 1848 p. 97 und enthält einige Analysen und die Angabe, dass in Antheren Krystalle vorkommen.

Peyen. (Mémoires sur le développement des végétaux. 1844.)

Bailey (American Journal of Science and Arts. New-Haven 1845. Vol. 48. p. 17) schrieb über die Formen des klinorhombischen Systemes, welche er sämmtlich als oxalsauren Kalk erkannt hatte. Die Proteïnkrystalloide der Kartoffel erklärt er für Calciumphosphat.

C. Schmidt (Entwurf einer allgemeinen Untersuchungsmethode der Säfte und Excrete des thierischen Organismus. Mitau und Leipzig 1846) bestimmte die Stammform des quadratischen Calciumoxalats, verkannte dagegen die von Bailey richtig aufgefassten klinorhombischen Formen.

Justus von Liebig (Annalen der Chemie und Pharmacie von Liebig, Wöhler und Kopp. 1853. Bd. 86. p. 113) machte ein zweites mineralisches Vorkommen des oxalsauren Kalkes bekannt und nennt ihn Thierschit.

E. E. Schmidt (Annalen der Chemie und Pharmacie. 1856. Bd. 97. p. 225) weist nach, dass der oxalsaure Kalk in zwei Systemen (quadratischen und klinorhombischen) krystallisirt.

Souchay und *Lenssen* (Annalen der Chemie und Pharmacie. Bd. 100. p. 311) machen Mittheilung über die Umstände, unter denen die Bildung der einen oder anderen Form statt hat und finden bei langsamer Krystallisation quadratische Octaëder mit 6 aq., bei schnellerer klinorhombische Formen mit 2 aq.

C. Sanio (Monatsberichte der preussischen Akademie der Wissenschaften. Berlin 1857) deutet die klinorhombischen Formen auf Grund genauer Analysen als oxalsauren Kalk und berichtet die Resultate seiner eingehenden Untersuchung über die Verbreitung im Zellgewebe.

Ples (Naturkundig Tijdschrift voor Nederlandsch Indie. Batavia 1858. p. 345) wollte in den Nadeln von Tectonia grandis (Djatiboomen) neutralen phosphorsauren Kalk gefunden haben.

Berg (Archiv der Pharmacie. II. Reihe. Bd. 99. H. 2. Aug. 1859) theilte mit, dass die Krystalle der Guajakrinde aus Gyps bestehen, ebenso die der Cort. Quillajae saponariae (Bot. Ztg. 1861. p. 140).

Flückiger (Schweizerische Wochenschrift für Pharmacie. Bd. 1. H. 1. Jan. 1862. p. 16) gelangte betr. der Krystalle von Cort. Quill. sap. zu derselben Ansicht wie *Berg,* widerrief dieselbe nach erneuten Untersuchungen bereits 1863; in diesen Krystallen sowie in den von Cort. Guajaci fand er Oxalsäure.

Holzner, G. (Flora. 1864. Nr. 18. p. 273) berichtet über seine genauen chemischen, krystallonomischen und optischen Untersuchungen der Krystalle in den Pflanzenzellen.

— (Flora. 1867. Nr. 32. p. 497. Ueber die physiologische Bedeutung des oxalsauren Kalkes.)

Gulliver. Observations on Raphides and other crystals. (Annals and Magazine of natural history. 1859—65.)

Rosanoff, S. Bot. Ztg. 1865. p. 329.

——— Bot. Ztg. 1867. p. 41. Ueber Krystalldrusen in den Pflanzen.

Solms-Laubach, H. Graf zu. (Bot. Ztg. 1868. Nr. 9. p. 148.)

Holzner, G. (Flora. 1868. Nr. 20. Ueber die physiol. Bedeutung des oxals. Kalkes. Nachtrag I.)

——— (Flora. 1868. Nr. 34. Nachtrag II.)

——— Die krystallisirten Gebilde in den Blättern des Weinstocks. (Flora. 1869. p. 238.)

De la Rue. Ueber Krystalldrusen in den Pflanzen. (Bot. Ztg. 1869. p. 537.)

Aé, H. A. Flora. 1869. p. 189 ff.

Pfitzer, E. Ueber die Einlagerung von Kalkoxalat-Krystallen in die pflanzliche Zellhaut. (Flora. 1872. p. 97—136.)

Boehm, J. Ueber den vegetabilischen Nährwerth der Kalksalze. (Sitzungsber. d. Wien. Ak. d. W. Bd. 71. I. Abth. 1875.)

Hilgers. (Pringsheims Jahrb. für wiss. Botanik. VI. Bd. III. Heft. p. 285.)

van der Ploeg. Acad. Preisschrift. Leiden 1879. Ref. Chem. Centralblatt 1880. p. 72.

v. Raumer und *Kellermann.* Ueber die Funktion des Kalkes im Leben der Pflanze. Landwirthsch. Versuchsst. 1886. Bd. 25.

de Vries, H. Ueber die Bedeutung der Kalkablagerungen in den Pflanzen. (Landw. Jahrbücher. 1881. Bd. X.)

Poli, A. I cristalli di ossalato calcico nelle piante. Roma 1882.

Monteverde, N. A. Ueber die Verbreitung und Vertheilung des Salpeters in der Pflanze und über einige chemische Verwandlungen unter dem Einfluss des Zellsafts. (Arbeiten d. St. Petersburger Ges. d. Naturf. Bd. XII. 1882.)

Köpert, O. Ueber Wachsthum und Vermehrung der Krystalle in den Pflanzen. (Zeitschr. für Naturw. Bd. IV. 1885. — Ref. Bot. Centralbl. Bd. 24. p. 35.)

Borodin, J. P. Sur la répartition des cristaux d'oxalate de chaux dans les feuilles des Légumineuses et des Rosacées. (Bull. Congr. internat. de botan. et d'horticult. à St. Pétersbourg. 1885.)

Monteverde, N. A. Ueber den Einfluss des Lichts auf die Bildung des oxalsauren Kalkes in den Pflanzen. (Arb. d. St. Petersburger Ges. d. Naturf. Bd. XVIII. p. 46—47. 1887.)

In etiolirten *Papilionaceen*-Pflanzen findet *M.* die Calciumoxalat-Masse viel geringer als in normalen. Von der Basis des Stengels nach oben nimmt das Salz rapid ab, die Blätter

sind ganz frei davon, oder wenige Krystalle liegen an der Basis der Hauptnerven. Je grösser der Kalkgehalt des Bodens, um so grösser die Zahl der Krystalle in den Pflanzen (bis zu einer gewissen Grenze und nur im Licht).

Zu p. 34 „KRYPTOKRYSTALLINISCHES KALKOXALAT".

Es sei erwähnt, dass ich bei fortgesetztem Suchen in manchen Knollen von *Solanum tuberosum* deutlich erkennbare, wohl ausgebildete Tetraëder fand, die jedoch von denen an Grösse und regelmässiger Ausbildung noch weit übertroffen wurden, welche mir in verschiedenen oberirdischen Theilen einer anderen *Solanee Juanulloa aurantium* begegneten. Ich habe diese abnorm grossen Tetraëder in Fig. 46 a—e, Taf. III dargestellt. a und e in der Stellung, in welcher sie bei gekreuzten Nicols hell (he) erschienen, b in der sie nicht aufleuchteten.

Die in den Oberhautzellen von *Vanilla planifolia* neben tetragonalen Pyramiden und deren Combination mit dem Prisma vorkommenden in gewissen Lagen Tetraëder-ähnlichen Krystalle sind weiter nichts als tafelförmig ausgebildete tetragonale Pyramiden.

Das „kryptokrystallinische Kalkoxalat" ist, wie seine gut ausgebildeten Individuen beweisen, immer tetragonal-hemiëdrisch, wodurch die Bemerkung *F. A. Flückiger*'s und *A. Tschirch*'s [1], es gehöre vermuthlich zu den monoclinen, nadelförmigen Krystallen, hinfällig wird.

Zu p. 36.

Das Holzparenchym auch folgender Pflanzen führt Calciumoxalat-Krystalle:

Banisteria grata Grieseb., Hiraea chrysophylla Juss. (Malpighiaceen), Erythroxylon Coca Lam. (Lineen), Shorea robusta Roxb. (Dipterocarpeen), Erisma violaceum Mart., Qualea dichotoma Mart. et Zucc. (Vochysiaceen), Acer-, Dodonaea-Spec., Sapindus Saponaria L. (Sapindaceen), Arten von *Robinia, Swartzia, Caesalpinia, Dimorphandra, Parkia, Adenanthera, Inga* und *Acacia (Leguminosen), Olinia capensis Thbg.* und *O. cymosa Klotzsch.*

[1] *F. A. Flückiger* und *A. Tschirch.* Grundlagen der Pharmacognosie. p. 113.

(Lythrarieen), Pagamea coriacea Spruce., Fagraea-Species (excl. *F. racemosa) (Loganiaceen), Vitex saligna Roxb. (Verbenaceen), Cryptocarpus globosus Hook. Benth. et Kth. (Nyctagineen), Coccoloba diversifolia Jacq. (Polygonaceen), Castanea vulgaris Lam., Castanopsis-Spec. (Cupuliferen), Norontea brasiliensis Chois (Ternstroemiaceen), Citrus-, Murraya-, Ptelea-, Galipea*-Arten *(Rutaceen), Simaruba amara Aubl. (Simarubaceen) Trichilia Clausseni C. Dec. (Meliaceen).* [1]

Zu p. 37.

Im Plasma liegend wurden neuerdings die Oxalat-Drusen der *Cacteen* von *C. Lauterbach* [2] gefunden, aus dessen Mittheilung ich folgende Stellen wörtlich wiedergebe:

„Je mehr der Krystall, der anfangs selbst von einem Plasmabeleg überzogen ist, wächst, um so mehr schwindet der Inhalt der Zelle, bis zuletzt nur die Oxalatdruse übrig bleibt, die im Zellsaft liegend, ihrerseits in ihrem Wachsthum noch lange fortfährt, ja dies vielleicht periodenweise wieder aufnimmt, indem man in älteren Geweben mitunter sehr grosse Drusen vorfindet“ und weiter unten: „In einem weiteren Stadium sieht man daher den Zellkern und die Oxalatdruse von einem Plasmaklumpen eingehüllt im Innern der Zelle an Plasmafäden suspendirt;“ und ferner: „Was die Entwicklung der Krystalldrusenschicht unterhalb der Epidermis anbetrifft, so erfolgt diese bei den *Opuntien* später als die Entwicklung der Krystalldrusen in den Meristemen. Sie findet in Höhe und unterhalb der Procambiumzone statt, ungefähr ein bis zwei Millimeter vom Scheitel entfernt. Die Drusen sind anfangs klein und in Plasma eingebettet; mit der Vollendung ihres Wachsthums ist auch der übrige Zellinhalt grösstentheils verschwunden.“

Zu p. 40 ff. ZUR BILDUNG DES KALKOXALATS IM ALLGEMEINEN.

Bei meinen Erörterungen über die Entstehung des Calciumoxalats habe ich mich in erster Linie mit den Bewegungen und den Wanderformen des Kalkes beschäftigt, denselben begleitet bis zu dem Zeitpunkt, wo derselbe durch Niederschlag oder Ausbil-

[1] *Solereder, H.* l. c. p. 88, 87, 81, 70, 109, 136, 176, 204, 209, 220, 250, 91, 92, 95.

[2] *Lauterbach, C.* Untersuchungen über Bau und Entwicklung der Secretbehälter bei den Cacteen. (Bot. Centralbl. Jahrg. X. No. 9.)

dung fester Kohlehydrate aus der Glycose-Kalk-Lösung frei und zur Vereinigung mit Oxalsäure bereit ist. Es ist dabei also stillschweigend die Existenz freier Oxalsäure vorausgesetzt und es fragt sich nun, ob eine solche Voraussetzung Berechtigung hat. Leider ist unser positives Wissen über die organischen Säuren in der Pflanze noch sehr arm, in der Literatur[1] finden sich zwar unendlich viele Angaben über einzelne Vorkommnisse derselben, aber eine der neueren Publikationen, die gewiss zu den guten zu rechnen ist, beweist am besten, dass wir über die Bedeutung und Entstehungsweise der organischen Säuren noch recht wenig Sicheres wissen, ich meine die Arbeit *Warburg*'s[2]; dieselbe sucht darzuthun, dass die organischen Säuren ein Product unvollständiger Athmung darstellen, dass die Säurebildung also ein der Oxydationsgährung nahestehender Vorgang sei, wie *Müller-Thurgau* bereits früher ausgesprochen hatte. Durch die Assimilation gelieferter Sauerstoff soll nach *Warburg* eine vollständige Verathmung zu Kohlensäure bewirken, Mangel an Sauerstoff bei Verhinderung des Assimilationsprocesses aber zur unvollständigen Verbrennung (zu Kohlensäure) d. h. zur Säurebildung führen und *Warburg* konnte in der That finden, dass alles, was die Assimilation fördert, auch die Säurezersetzung oder Entsäuerung begünstigt. Geförderter Luftzutritt durch Zerschneiden grüner Pflanzentheile oder durch Abziehen der Epidermis begünstigte die Entsäuerung, während Abschluss von Sauerstoff diese herabsetzte. Allein die Versuche im blauen Licht, im Wasserstoff etc., die alle Entsäuerung ohne Sauerstoffzutritt vor sich gehen liessen, ferner die Säureverminderung in reifenden Früchten und die Säurearmuth in Wurzeln und Knollen sind Argumente gegen die Stichhaltigkeit der *Warburg*'schen Hypothese. Ich habe mir nun auf Grund meiner Beobachtungen über die Kalkoxalat-Bildung eine von den bisher

---

[1] Die Ansichten *Hilger*'s (Pringsheim's Jahrb. für wiss. Bot. V. p. 403) (assimilirter Lebenssaft spaltet sich in Zellstoff, Plasmasubstanz und Oxalsäure), ferner des „Ungenannten" (Oecon. Fortschritte von Dr. Ph. Zoeller. No. 47, 48. 1868) (Oxalsäure wird durch Entsauerstoffung der Kohlensäure gebildet) und viele andere können eine Berücksichtigung nicht mehr beanspruchen. *Sachs* hat sich nirgends in ganz bestimmter Weise über die Oxalsäure-Bildung in der Pflanze ausgesprochen. Von neueren Untersuchungen sind zu beachten die von *Ad. Mayer*, *G. Kraus*, *de Vries* etc.

[2] *Warburg*, *O.* Ueber die Bedeutung der organischen Säuren für den Lebensprocess der Pflanzen (speciell der sogenannten Fettpflanzen). (Untersuchungen aus dem bot. Institute zu Tübingen. II. Bd. 1. H. p. 53—150.)

bekannt gewordenen in vielen Stücken abweichende Ansicht über die Oxalsäure-Bildung gemacht, die ich hier etwas ausführlicher darlegen will, eben weil sie mit der Bildung und dem Erscheinen des oxalsauren Kalkes in engstem Zusammenhang steht. Zu den im Pflanzenkörper verbreitetsten Stoffen gehören unzweifelhaft die Amide, Amidosäuren und Amine, unter ihnen in erster Linie das Asparagin, Leucin, Tyrosin, Tyroleucin, Glutamin u. s. f. Wir sind berechtigt, diese Stoffe und ihre Verwandten in engste Beziehung zum Eiweiss der Pflanze zu bringen, sie als bei der Eiweissbildung nöthig, bei der Eiweisszersetzung entstehend zu betrachten und ihre Häufigkeit ist eben die Folge davon, dass sie mit der Zerspaltung und Entstehung der eiweissartigen Stoffe eng verknüpft sind. Mit anderen Worten, die Amide (im weitesten Sinne) sind Wanderformen der pflanzlichen Eiweisse. Soll aus ihnen Eiweiss erzeugt werden, so bedarf es stickstofffreier, organischer Substanzen (Kohlehydrate im weitesten Sinne), welche sich in letzter Linie von der autochthonen Stärke oder den Kohlehydraten des assimilirenden Chlorophyllkornes ableiten. Es ist nun evident, dass man diese Körper nur dann in beträchtlicheren Quantitäten wird nachweisen können, wenn die Umwandlung in Eiweiss aus Mangel an Kohlehydratzufuhr unterbleibt oder wenigstens herabgemindert wird. In keiner Pflanze darf man sie weniger zu finden hoffen, als in der vollkommen gesunden, in keiner mit grösserer Sicherheit als in der kränkelnden, sofern dieses Kränkeln mit Unterdrückung ausgiebiger Kohlensäure-Assimilation verbunden ist. Hieraus erklärt es sich einerseits, dass man häufig vergeblich nach den Amiden sucht, andererseits, dass *Borodin*[1] 1878 bereits die Behauptung aufstellen konnte, dass alle höheren Pflanzen, in's Dunkle gebracht, Asparagin bilden können. *Borodin* wies denn auch diesen Stoff nicht nur in verdunkelt gehaltenen Knospen und Trieben von *Lonicera tatarica, Syringa, Betula, Alnus* etc. nach, sondern auch in den verschiedensten Blüthentheilen, im etiolirten Spross eines Laubmooses etc. Durch die Untersuchungen besonders von *Schulze*[2], *Umlauft, Kellner*[3], *Emmerling*[4], *Luca* und

[1] *Borodin.* Bot. Ztg. 1878. p. 801.

[2] *Schulze.* Versuchsstationen 1878. Bd. 21. p. 86. — Landwirthschaftl. Jahrb. 1879. Bd. 9. p. 12 und *Umlauft*, Landwirthschaftl. Jahrb. 1876. Bd. 5. p. 830 u. 850.

[3] *Kellner.* Landwirthschaftl. Jahrb. 1879. Bd. 8. p. 245, 46.

[4] *Emmerling.* Versuchsstationen 1879. Bd. 24. p. 139.—1884. Bd. 30. —1887. Bd. 34.

Ubaldini[1] und Anderen sind wir mit dem häufigen Vorkommen einer ganzen Reihe von Amiden in den verschiedensten Pflanzen bekannt geworden. Ich selbst habe eine stattliche Zahl von Pflanzen besonders auf Asparagin untersucht und kann sagen, dass ich dasselbe mit wenigen Ausnahmen in allen Pflanzen gefunden habe, in denen ich es auf Grund besonderer Ueberlegung zu finden hoffte, wie spätere Angaben beweisen werden. Dabei habe ich zu bemerken Gelegenheit gehabt, dass das Asparagin, auf welches ich meine positiven Angaben absichtlich einstweilen beschränken will, ausser in den Gefässbündelelementen sonst wohl überall angetroffen werden kann. Nehmen wir nun an, dass wir es da finden, wo es entsteht, so müssen wir in jeder Zelle (ausser in denen der Bündel) eine Eiweisszerspaltung und demnach auch eine Eiweissbildung wenigstens für möglich halten, wenn auch, da Asparagin Wanderform ist, dasselbe sich weit von seinem Entstehungsort entfernen kann. Auf keinen Fall ist weder Bildung noch Fortbewegung des Asparagins an bestimmte Orte oder enge Bahnen gebunden, worauf ich wieder zurückkommen werde.

Ich stelle mir die Stoffwechsel-Processe auf Grund einer grossen Menge von Beobachtungen vor wie folgt, soweit sie das Eiweiss betreffen: Der Stickstoff der Nitrate des Bodens tritt in der Pflanze mit Kohlenwasserstoffen zu Amiden zusammen, welche mit Kohlehydraten Eiweiss bilden unter Abgabe von Sauersstoff. Dieses Eiweiss spaltet sich wieder in Asparagin und Kohlehydrat, von denen das erste bei fortgesetzter Kohlehydratzufuhr von Neuem Eiweiss erzeugt, während das Kohlehydrat verathmet wird. Die Sauerstoffentbindung bei der Eiweissbildung folgt aus der procentischen Zusammensetzung von Eiweiss und Asparagin, welche sich so zu einander verhalten, dass bei der Bildung von Eiweiss aus Asparagin Kohlenstoff und Wasserstoff verbraucht, Sauerstoff dagegen disponibel wird, während der Stickstoff in Folge gleichen Gehaltes beider Substanzen an diesem Element vollständig verwandt wird. Umgekehrt werden beim Zerfall von Eiweiss zu Asparagin Kohlenstoff und Wasserstoff frei, Sauerstoff wird verbraucht und der Stickstoff ganz und gar ins Asparagin aufgenommen. Von hauptsächlichem Interesse ist für mich, dass bei jeder Synthese von Eiweiss aus Asparagin Sauerstoff zur Bildung organischer Säuren disponibel wird; diese theoretische Folgerung erlaubt eine

[1] *Luca* und *Ubaldini*. Ann. d. scienc. naturell. 1864. V. sér. Bd. 2. p. 380.

empirische Controle. Orte, an denen nachweislich grössere Mengen Eiweiss gebildet werden, müssen organische Säuren speichern; z. B. Vegetationskegel, Eiweiss-reiche Samen etc. In der That erwiesen sich alle von mir untersuchten Vegetationsspitzen, alle sich mit Eiweiss anfüllenden Samen stark sauer reagirend. Sind Kalkverbindungen in der Nähe, so wird es an solchen Orten zu einer ausgiebigen Kalkoxalatbildung kommen. In den Vegetationskegeln von Luftwurzeln sieht man denn auch die Kalkoxalat-Ausscheidungen bis fast in die Spitze sich erstrecken, ebenso in den Spitzen ächter Wurzeln und Stengelorgane.

Bei Stengelvegetationspunkten ist freilich, wahrscheinlich in Folge Kalkmangels, die oberste Spitze des Vegetationskegels meist frei von Kalkoxalats. In Folge stark herabgesetzter Transpiration durch die eng anschliessenden Knospenhüllen gelangt der Kalk überhaupt nicht bis dahin, dagegen werden gerade in den Hüllblättern oft grosse Kalkmengen angesammelt, welche alsdann mit der Oxalsäure zu Oxalat sich vereinigen können und wie ein Panzer die oxalatfreien oder -armen jüngsten Stamm- und Blattanlagen umgeben. In den Proteïnkörnern vieler Samen fällt die Eiweiss-Abscheidung mit der Kalkoxalat-Produktion auch räumlich eng zusammen, da wir das Salz dann häufig dicht neben den Eiweiss-Krystalloiden und im Eiweiss-reichen Zellinhalt finden. Allein im Grossen und Ganzen kann die Oxalsäure-Entstehung nicht Ortbestimmend bei der Calciumoxalat-Bildung auftreten, denn sonst könnte letztere nicht so häufig wie nach einem Schema vor sich gehen; meine vorn gemachten genauen Angaben über die Orte der Oxalatausscheidung beweisen zur Genüge, dass dieselbe nicht regellos sattfindet. Da nun, wie ich oben erwähnte, die Eiweissbildung nicht streng localisirt ist und wir keine schwerwiegenden Gründe haben, dieselbe an bestimmte Gewebe zu knüpfen, so folgte daraus zweierlei a priori von selbst: erstens, dass der Kalk des Oxalats nicht direkt den aufsteigenden Bodensalzlösungen, als dem Transpirationsstrom und dem langsam nach oben durch Diffusion sich fortbewegenden Bodenwasser entnommen werden kann, denn sonst müsste das Oxalat auch an vielen anderen Orten in den Pflanzen sich bilden, wo Eiweiss sicher entsteht, also Oxalsäure disponibel wird, zweitens, dass vielmehr das Oxalat dort wird erzeugt werden, wo sich bestimmte Leitungsbahnen für Kalk befinden: wie ich nun vorn erörtert habe, bewegen sich wahrscheinlich die Kohlehydrate in Form flüssiger Kalk-Kohlehydratverbindungen in der Pflanze

und zwar, wie wir wissen, in ganz bestimmten Bahnen, häufig durch transitorische Stärke bezeichnet. Wäre dem so, so wäre zu erwarten, dass das Calciumoxalat hauptsächlich in der Nähe dieser Bahnen und besonders da erscheint, wo aus dem Kalk-Kohlehydrat der Kalk frei wird, also in stärkehaltigen Rhizomen, Knollen, Zwiebeln, Samen und in der Umgebung dicker Cellulose-Membranen, wie sie Bastfasern, Sklerenchymzellen aller Art etc. besitzen; in beiden Fällen wird durch Umwandlung der flüssigen Kohlehydratform in Stärke resp. Cellulose der Kalk zur Vereinigung mit der Oxalsäure verfügbar. Ich habe nun vorn ausführlich dargethan, dass das Oxalat in der That an bezeichneten Stellen immer zu finden ist. Damit will ich nicht behaupten, dass es ausschliesslich dort auftritt, denn ich habe mehrere Typen des Kalkoxalats unterschieden, welche sich eben durch ihre Entstehungsweise wesentlich unterscheiden. So halte ich es für möglich und wahrscheinlich, dass zum Aufbau des sekundären (Schimper) Oxalats in den Blättern die durch Transpiration concentrirte Bodensalzlösung den Kalk direkt zu liefern vermag, während das primäre und tertiäre (und ebenso das quartäre) Salz denselben mit mehr Wahrscheinlichkeit aus Kalk-Kohlehydrat-Verbindungen entnimmt.

Dass Kalk-Kohlehydrat-Verbindungen in der Pflanze existiren, ist sehr wahrscheinlich. Man kennt eine ganze Reihe solcher Vereinigungen, welche sich zwischen Kalk und Kohlehydraten mehr oder weniger leicht bilden und zu deren Entstehung in der Pflanze gewiss alle Bedingungen vorhanden sind. Mit Traubenzucker in alkoholischer Lösung giebt Kalk flockige Ausscheidungen; beim Erwärmen von Traubenzucker mit kohlensaurem Kalk erhielt ich eine beim Verdampfen in büscheligen Krystallaggregaten erstarrende Verbindung: Calciumgluconat ($C_6\ H_{11}\ O_7$) 2 Ca + 2 H_2 O. Levulose geht mit Kalk bekannter Weise mehrere Vereinigungen ein, eine leicht lösliche ($C_6\ H_{12}\ O_6$) CaO und eine schwerlösliche 2 ($C_6\ H_{12}\ O_6$), 3 CaO, welche sich beide in feuchter Luft zersetzen. Rohrzucker-Kalkverbindungen sind schon längst bekannt. Kalkwasser, Calciumcarbonat, Calciumphosphat lösen sich leicht in Zuckerlösung und zwar hängt die Menge des aufgenommenen Kalkes von der Concentration der Zuckerlösung (Péligot. Compt. rend. *32*. 335. — Berthelot. Ann. chim. phys. *46*. 173.) sowie von deren Temperatur (Dubrunfaut. Compt. rend. *32*. 498.) ab. Es löst sich um so mehr Kalk, je mehr Zucker vorhanden ist,

um so weniger, je höher die Temperatur ist. Die Rohrzucker-kalkverbindungen schmecken bitter und alkalisch; eine von ihnen stellt den Liquor calcis saccharatus der britischen Pharmakopoe dar und wird leicht durch Digeriren von 1 Theil gelöschtem Kalk, 2 Theilen Zucker und 20 Theilen Wasser erhalten. Die nach einigen Stunden abfiltrirte Lösung enthält in 65 Theilen einen Theil Kalk. Es giebt drei Calciumsucrate oder C. Saccharate, die man näher kennt, das Monocalciumsucrat ($C_{12} H_{22} O_{11} + CaO$), das in kaltem Wasser sehr leicht löslich ist. (Péligot. Ann. Chem. Pharm. *30.* 71. — Compt. rend. *59.* 930. — Soubeiran. Ann. Chem. Pharm. *43.* 229.), ferner das Dicalciumsucrat ($C_{12} H_{22} O_{11} + 2 CaO$), in 33 Theilen Wasser bei gewöhnlicher Temperatur löslich (Telouse, Boivin, Loiseau. Ann. chim. *6.* 203), und endlich das Tricalciumsucrat ($C_{12} H_{22} O_{11} + 3 CaO$). (Péligot. Ann. chim. *54.* 379.), welches am schwersten löslich ist, mehr als 100 Theile Wasser zur Lösung bedarf und beim Kochen mit Alkohol in das 6-basische Saccharat (Déon. Bull. soc. chim. *16.* 26. *17.* 155.) übergeht. Calciumlactonat ($C_6 H_9 O_6$) 2 Ca + 7 H_2 O krystallisirt in monoclinen Tafeln; seine lauwarme Lösung nimmt Kalk auf und scheidet beim Erhitzen ($C_6 H_8 O_6 Ca$) aus. (Kiliani. Ber. deutsch. chem. Ges. *14.* 651.) In Wasser gelöster Mannit nimmt ebenfalls Kalk auf und dasselbe gilt sogar von den unter dem Namen „Pectinstoffe" zusammengefassten Kohlehydraten. Nach Stüde (Ann. Chem. Pharm. B. 131. 244.) ist Pectin in der Pflanze an Kalk gebunden.

Die meisten dieser Kalk-Kohlehydrat-Verbindungen sind nun weit diffusionsfähiger als die Kohlehydrate, denen bekanntlich nur ein relativ schwaches Diffusionsvermögen zukommt. Darin würde naturgemäss die Hauptbedeutung dieser Verbindungen liegen, dass sie die Kohlehydrate beweglicher in der Pflanze machen und den Uebergang aus einer Zelle in die andere erleichtern.

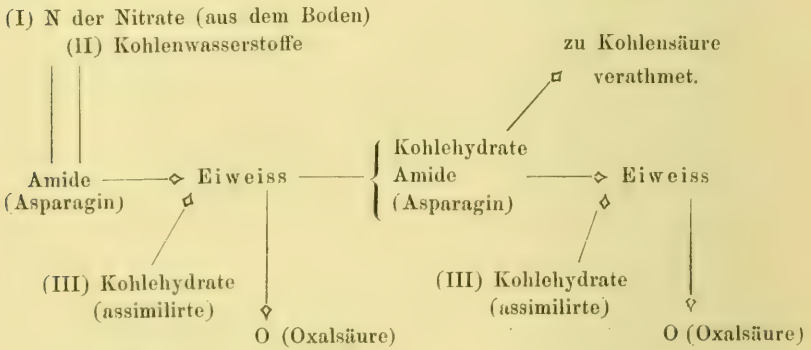
Ich werde nun im Folgenden noch eine Anzahl wichtiger Consequenzen anführen, welche meine Vorstellung von den Beziehungen zwischen Eiweiss- und Calciumoxalatbildung mit sich bringt, und welche experimenteller Prüfung zugängig sind.

Alle Pflanzen, welche im Dunkeln wachsen und in Folge dessen wenig Kohlehydrat produciren können, müssen Asparagin speichern und Kalkoxalat-arm oder -frei sein. Ich fand dies bestätigt an in sehr schwachem Licht erwachsenen Exemplaren von:

Selaginella-Spec., *Todea pellucida*, *Adianthum*-Spec., *Sphagnum*- und *Hypnum*-Arten u. s. f.

Pflanzen, welche bei normalen Verhältnissen hervorragend viel Calciumoxalat erzeugen, müssen bei künstlicher Verdunkelung auffallend grosse Mengen Asparagin produciren. Diese Forderung fand ich in eclatantester Weise erfüllt an drei im Dunkeln erwachsenen Pflanzen: *Epiphyllum truncatum*, *Cereus grandiflorus*, *Petrophyes agriostachys*. Diese Gewächse sind, wenn sie in vollem Licht wachsen, wie mit Calciumoxalat vollgestopft. Jede Zelle enthält ein oder mehrere Krystalle, Drusen oder Sphaerite; in den Dunkel-Exemplaren nichts von alledem, dafür aber ausserordentlich viel Asparagin, welches in den bekannten sphenoidischen Hemiëdern oder Prismen etc. des rhombischen Systems beim Behandeln mit absolutem Alkohol leicht sichtbar gemacht werden kann. Aehnlich verhielten sich im Dunkeln erzogene Exemplare von *Myrsiphyllum asparagoides*, welche viel weniger Calciumoxalat[1] aber sehr viel Asparagin in ihren Blättern enthielten.

Die klaren Resultate legen die Vermuthung nahe, dass in vielen Pflanzen, welche man ohne Calciumoxalat zeitlebens findet, eine so lebhafte Eiweiss- und Säurebildung unterbleibt entweder aus Mangel an Nitraten im Boden, oder aus Mangel an Licht, oder endlich aus Mangel an Kalk. Dies wird deutlich werden aus folgendem Schema, welches den Stoffwechsel darstellen soll:



[1] Ein Theil der primären Rhaphiden war bereits vorhanden, als die Verdunkelung vorgenommen wurde. Bei Bestimmung der Kalkoxalat-Menge etiolirter Pflanzen dürfen nicht Blätter gleicher Grösse (gelber und grüner) verglichen werden, sondern gleicher Entwicklungszeit, weil die etiolirten an Grösse hinter den normalen zurückbleiben und sonst zu viel Oxalat, auf die Fläche bezogen, gefunden werden würde.

Die abwechselnde Eiweissbildung und -zerlegung kann nur vor sich gehen, wenn Stickstoff (I) aus den Bodensalzen zur Verfügung steht, wenn assimilirte Kohlenwasserstoffe (II) vorhanden sind und assimilirte Kohlehydrate (III) zufliessen. Hieraus folgt, dass Oxalsäure und Calciumoxalat nicht entstehen werden, wenn Nitrat im Boden oder wenn Licht oder wenn Kohlensäure der Luft fehlt. Selbstverständlich ruft Kalkmangel im Boden ebenfalls das Ausbleiben des Calciumoxalats hervor.

A. In Nitratfreier Nährlösung gezogene Pflanzen (Blätter), das hat *Schimper* bereits gezeigt (p. 130), sterben bald (nach 10—12 Tagen ab) und vermehren ihr Calciumoxalat während dieser Zeit nicht merklich oder gar nicht. B. Dass im Dunkeln niemals Calciumoxalat gebildet wird, ist nicht richtig, denn sonst könnten wir in ganz eingeschlossenen Vegetationskegeln nicht Oxalat (primäres) finden. Wir hatten ja gerade dem primären, tertiären und quartären Oxalat die Fähigkeit zugeschrieben, auch ohne Licht sich bilden zu können. Wir müssen hier mehrere Fälle unterscheiden. Eine Pflanze, welche sich vollständig im Dunkeln entwickelt, kann nur soviel oxalsauren Kalk erzeugen, als der Kalk hervorzubringen im Stande ist, welcher sich einmal in ihr befindet. Ich werde dies an einem von mir genau beobachteten Fall erläutern.

Ich liess Lupinen-Samen (*Lupinus luteus*) in vollkommen kalkfreiem Boden wachsen. Die Cotyledonen enthalten eine Menge monocliner Kalkoxolat-Täfelchen. Nach einiger Zeit zeigen sich letztere corrodirt und verschwinden endlich ganz. Obgleich diese Erscheinung sehr leicht zu beobachten ist, halten doch manche Leute eine nachträgliche Lösung von oxalsaurem Kalk für unmöglich! In ganz vortrefflicher Weise habe ich die Lösung des Calciumoxalats ausser bei Lupinus auch bei vielen *Umbelliferen* beobachten können; zahlreiche Versuche habe ich mit *Coriandrum sativum* angestellt. Bei dieser Pflanze (und ihren Verwandten) ist das Calciumoxalat im Endosperm in Form von Drusen (Sphaerit-ähnlich) deponirt. Lässt man Samen in kalkfreier Lösung keimen, so gelingt es leicht, zu verfolgen, wie von den Cotyledonen nach Aussen fortschreitend die Drusen corrodirt werden. Sie werden von innen heraus gelöst, stellen eine Zeitlang Hohlkugeln dar, bis sie endlich ganz zerfallen. Dass diese Lösung (besser Zersetzung) vor sich geht, lässt sich ausser an den Corrosionserscheinungen noch an zwei anderen Thatsachen erkennen. Erstens daran, dass beim Keimprocess die Cotyledonen von der frei gewordenen Oxal-

säure stark sauer werden und zweitens dass im Epi- und Hypocotyl ebenso wie in der Wurzel Krystalle von Calciumoxalat auftreten, denen, da der Boden Kalk-frei ist, gar kein anderer Kalk als der des Oxalats der Cotyledonen zur Verfügung steht. Es kann aber diese Calciumoxalatbildung im Dunkeln nur so lange vor sich gehen, als der Vorrath von assimilirten Kohlehydraten und der Kalkvorrath reicht. Im Vegetationskegel bedarf es des Lichtes eben deshalb nicht, weil Kohlehydrat aus den benachbarten Blättern genügend zugeleitet werden kann. Es folgt hieraus, dass auch da, wo Chlorophyll fehlt, aber Kohlehydrate doch zugeleitet werden können, das Calciumoxalat auftreten kann, wie in den farblosen Partien panachirter Blätter von *Acer Negundo*, *Hibiscus rosa-sinensis* etc. Freilich wird in den weissen Theilen, in die das Kohlehydrat erst einwandern muss, bedeutend weniger von diesem Salz zu erwarten sein, wie es auch die von *Schimper* angeführten Zahlen (p. 88) bestätigen. Es ist aber durchaus nicht nöthig, mit *Schimper* eine Einwanderung fertigen Calciumoxalats in die weissen Gewebe anzunehmen. Es stehen hier zwei Versuchswege offen um die Richtigkeit des Gesagten zu prüfen. Es müssten alsdann farblose Blätter am Licht Calciumoxalat erzeugen können, wenn Kohlehydrat und Nitrate künstlich zugeleitet werden und unter gleichen Bedingungen auch grüne Blätter im Dunkeln.

In Schattenblättern wird die Kohlehydratproduktion erniedrigt, das Kalkoxalat demgemäss in geringerer Menge gebildetes (*Schimper* p. 84), als in Sonnenblättern. Das Licht ist bei der Kalkoxalatbildung nur indirekt durch Kohlehydrat-Erzeugung betheiligt. Werden Kohlehydrate aus Reservestoffbehältern irgend welcher Art zugeleitet, so geht die Oxalat-Ausscheidung ebensogut im Dunkeln und ohne atmosphärische Kohlensäure, mit einem Worte ohne Assimilation vor sich, das wird bewiesen durch meine Versuche mit *Lupinus* und durch die *Schimper's* mit *Pelargonium zonale* (p. 88.)

Die Feuchtigkeit der umgebenden Luft muss selbstredend auf die Kalkoxalatbildung einen wesentlichen Einfluss ausüben. Zwar ist das primäre Salz unabhängig von der Transpiration, nicht aber das sekundäre, denn dieses schöpft seinen Kalk aus der im transpirirenden Organ concentrirten Bodensalzlösung. Es wird ihr natürlich um so mehr Kalk darin zur Disposition stehen, je mehr diese Lösung durch Abgabe von Wasserdampf nach aussen concentrirt ist. Aber auch die Assimilation wird bei starker

Transpiration gefördert, also auch die Eiweissbildung und Säureerzeugung. In feuchter Atmosphäre erzogene Pflanzen enthalten weniger sekundäres Oxsalat, als in trockener Luft gewachsene (vergl. die Angaben *Schimper's* p. 89).

Da nun die Kalkoxalat-Bildung nach dem Gesagten abhängig ist von einer grossen Anzahl von Factoren, konnte es von vornherein nicht auffallen, wenn eine ganze Reihe von Pflanzen kein oder nur sehr wenig Calciumoxalat in ihrem Körper erzeugt. Wie die Angaben auf p. 64 ff. veranschaulichen sind es besonders die *Algen*, *Moose*, *Farne* und *Equiseten* und andere Kryptogamen, unter den *Phanerogamen* hauptsächlich die *Gräser*, die durch gänzlichen Mangel (mit wenigen Ausnahmen) sich auszeichnen. Nur bei den *Farnen* habe ich das Salz in einigen in schwankender Menge gefunden und ebenso sind ein paar *Gräser* mit Spuren von Oxalat beobachtet worden. Den vorn angeführten kann ich noch *Panicum plicatum* beifügen. Es würde sich nun darum handeln, nach einer Erklärung für dieses exceptionelle Verhalten bezeichneter Pflanzengruppen zu suchen. Bei den *Gräsern* ist die Ursache in geringerer Kalkaufnahme aus dem Boden zu suchen und ebenso bei den *Equiseten*, bei welchen an Stelle des Kalkes zu einem gewissen Theil Kieselsäure aufgenommen wird. Bei dem grossen Kaligehalt dieser Pflanzen liegt die Vermuthung nahe, die Oxalsäure an das Kali gebunden anzunehmen; als solches müsste dasselbe dann im Safte nachgewiesen werden können. Die Richtigkeit dieser Speculation hat sich auf's Schlagendste erwiesen bei den *Gräsern*. Ich untersuchte den vorsichtig ausgepressten Saft vieler Gräser, die ich vorher als vollständig frei von Kalkoxalat constatirt hatte, nach Zusatz von verdünnter Chorcalciumlösung auf oxalsauren Kalk und konnte denselben immer in seinen charakteristichen Formen krystallisirt finden. Eine Verwechslung etwa mit den rhombischen Krystallen von Chorcalcium ist vollständig ausgeschlossen und durch Untersuchung der Löslichkeitsverhältnisse unmöglich gemacht. Die übereinstimmenden Resultate aller in dieser Richtung unternommenen Versuche berechtigen mich zu der Behauptung, dass die Gräser deshalb ohne Calciumoxalat sind, weil ihre gesammte Oxalsäure an Kali (incl. Natron) gebunden ist. Die Gräser nehmen in der Mehrzahl (Ausnahmen wie *Panicum turgidum*, *Panicum plicatum* etc. sind relativ selten) an Stelle des Kalkes Kieselsäure auf und wahrscheinlich als kieselsaures Kali (Natron). Wie ver-

halten sich nun Grässer, denen Kalk sozusagen aufgenöthigt wird; wahrscheinlich werden sie an Stelle des Kalis Kalk treten lassen. Die Richtigkeit dieser meiner Schlussfolgerung habe ich durch das Experiment auf das Schlagendste darlegen können. Von vier Individuen von *Oplismenus imbecillis Kunth.* wurden zwei nur mit destillirtem Wasser, zwei mit kalkreicher Nährlösung begossen (alle vier hatten denselben Boden). Die mikroskopische Untersuchung lehrte nach genau vierzehn Tagen, dass alle Blätter, auch die in dieser Zeit entstandenen, der ersten Gruppe kalkoxalatfrei waren, wogegen in den jüngeren Blättern der zweiten Gruppe fast alle Oberhautzellen ein oder mehrere Calciumoxalatkrystalle (tetragonale Pyramiden und Prismen) enthielten, wobei sich, wie zu erwarten war, eine Mengen-Zunahme von der Spitze nach der Basis der Blätter deutlich erkennbar war. Es ist also Kalkmangel im aufgenommenen Bodenwasser, welcher die Abwesenheit des oxalsauren Kalkes bei den Gräsern verursacht. Ermuthigt durch obige positive Versuchsresultate machte ich mich nun daran, auch die *Farne* auf oxalsaures Kali zu prüfen. Die bereits vorhandenen Analysen haben den enormen Kali-Gehalt der Farne schon eruirt, woraus nun aber noch nicht gefolgert werden durfte, dass dasselbe an Oxalsäure gebunden sei. Allein bei Vermischung des Saftes von Farnen mit Kalklösungen (Chlorcalcium) entstehen ebenfalls grosse Mengen oxalsauren Kalkes, ein Beweis, dass auch bei ihnen die gesammte Oxalsäure an Alkalien gebunden im Körper sich vorfindet. Ganz das Gleiche kann ich von den von mir untersuchten Moosen sagen. Verwendet wurden von Farnen: *Todea africana*, *Pteris tremula*, *Polypodium rhodopleuron*, *Blechnum brasiliense* etc. Von *Equiseten* stand mir leider zu der Zeit, da ich diese Versuche machte, kein brauchbares frisches Material zu Gebote. Von Moosen habe ich eine ganze Reihe geprüft, *Hypnum-*, *Mnium-*, *Philonotis-* etc. Arten.

Hat sich somit der oxalsaure Kalk als eine Art Indicator für einen bestimmten Modus des Stoffwechsels erwiesen, so wird es von Vortheil sein, denselben einmal anzuwenden auf eine Gruppe von Gewächsen, deren Ernährungsprocess, so eigenthümlich er ist, doch noch wenig genauer untersucht worden ist, ich meine die *Saprophyten* und *Parasiten*.

Saprophytische Pilze produciren entweder Kalkoxalat oder Kalkcarbonat; beides kommt vor, ohne dass ich bis jetzt hätte bestimmte Beziehungen entdecken können. *Fusisporium roseum*

Link., welches ich mit einem Minimum organischen Nährmaterials auf feucht gehaltenem Quarzsand erzog, erzeugte nur Calciumcarbonat, aber in grossen Krystallen, welches Salz bekanntlich die *Myxomyceten* ausschliesslich zur Abscheidung bringen. *Peziza nivea* und *P. Sclerotiorum* producirten immer das oxalsaure Salz, während eine ganze Reihe anderer Pilze unter den verschiedensten Verhältnissen feste Kalksalze überhaupt nicht ausschieden. Meine Untersuchungen hierüber sind noch nicht abgeschlossen. In obligatorisch-parasitischen Pilzen habe ich niemals oxalsaures Calcium finden können, was mich vermuthen lässt, dass sich dieselben ihren Stoffwechsel durch Aufnahme fertiger eiweissartiger Verbindungen wesentlich erleichtern; sie vermögen wahrscheinlicher Weise Eiweiss zu spalten, aber die Spaltungprodukte nicht wieder zu regeneriren. *Polyporus, Leuzites, Daedalea, Telephora, Corticium* etc. etc. sind facultative Parasiten und beherbergen oft grosse Mengen Calciumoxalat; es macht den Eindruck, als hätten sich diese Pilze bereits an ein selbständigeres Dasein, an eine unabhängigere Stoffbereitung gewöhnt. Letzteres gilt in noch höherem Maasse von den Flechtenpilzen, die ja mit ihren Symbionten zusammen gleichsam eine Pflanze höherer Entwicklungsstufe nachahmen. Ihnen fehlt es nicht an durch Chlorophyllthätigkeit assimilirten Kohlehydraten, nicht an Lösungen nitrathaltiger Bodensalze, kein Wunder, wenn wir bei ihnen auch das Charakteristikum eines Stoffwechsels höherer Ordnung, das Calciumoxalat, häufig wiederfinden und oft in ausserordentlich ansehnlicher Menge. (Siehe p. 69.)

Werfe ich endlich einen Blick noch auf die phanerogamen Fäulnissbewohner und Parasiten, so eröffnet sich eine ganz ähnliche Perspective. Je selbständiger diese Organismen ihr Ernährungsgeschäft zu verrichten im Stande sind, um so mehr zeigt sich bei ihnen das Symptom dieser Fähigkeit, der oxalsaure Kalk, so dass wir von anatomisch physiologischen Ermittelungen auf das biologische Verhalten derartiger Organismen zurückzuschliessen berechtigt sind. Untersuchen wir *Viscum* und *Loranthus*, so finden wir in ihnen grosse Quantitäten oxalsauren Kalkes, was darauf schliessen lässt, dass sie der Wirthpflanze wenig fertig gebildete organische Substanz entziehen. Sie besitzen ja auch leistungsfähige Assimilationsorgane, sie zersetzen und regeneriren Eiweiss selbst, sie schliessen sich an die Leitungsbahnen der Wirthe an und versorgen sich mit hinreichenden Mengen von Kalksalzlösungen;

das beweist eben ihr Reichthum an oxalsaurem Kalk. Anders bei *Cuscuta,* bei den *Orobancheen* etc. [und an diese schliessen sich jedenfalls die ganze Schaar von *Balanophoreen (Langsdorffia, Scybalium, Balanophora, Rhopalocnemis, Helosis, Corynaea, Lophophytum, Ombrophytum, Lathrophytum, Sarcophyte* etc.) *Hydnoreen* (*Hydnora* etc.) und *Rafflesiaceen (Rafflesia, Brugmansia, Pilostyles, Apodanthes* etc., ferner *Cassytha* etc. an]. Bei allen diesen Gewächsen ist die Selbständigkeit der Ernährung sehr reducirt. Es fehlen die Blattorgane oder das Chlorophyll oder beide ganz oder sind nur in unzureichender Menge ausgebildet, und wirksame Saugorgane mannifacher Form und morphologischer Bedeutung müssen der Wirthpflanze einen Theil des Lebenssaftes entziehen und sicher handelt es sich dabei oft um bereits fertige Eiweissstoffe, denn das Calciumoxalat ist nur äusserst spärlich oder gar nicht vorhanden. *Cuscuta* enthält in den von mir untersuchten Arten nur sehr wenig oxalsauren Kalk, ebenso viele *Rhinanthaceen,* während die *Orobancheen* dieses Salzes ganz entbehren. Für *Cuscuta* ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass es an Stelle des Kalksalzes das Kalisalz der Oxalsäure enthält, denn der Kaligehalt der *Cuscuta* ist ein ungemein hoher (100 Theile Reinasche enthalten bis 74,65 K_2O). *Lathraea* stellt sozusagen ein Analogon zu manchen Pilzen dar, es producirt nie Calciumoxalat, aber äusserlich, etwa wie *Fusisporium* etc. Calciumcarbonat, in den Blatthöhlen. Es scheint mir dieser Umstand besonders für die viel bezweifelte Fähigkeit der *Lathraea,* Insekten zu fangen, zu sprechen, da die aus den saftstrotzenden Baumwurzeln durch die Saugwarzen aufgenommene Flüssigkeit sicher nicht wesentlich von jener, welcher die Wurzeln des betreffenden Strauches oder Baumes selbst absorbiren, verschieden sein wird. Jede Zufuhr von organischer stickstoffreicher Substanz muss der Pflanze erwünscht sein, um so mehr als ihr ja auch die Fähigkeit, Kohlehydrate durch Assimimilation der atmosphärischen Kohlensäure zu bilden, abgeht. Die Eiweisssynthese ist der Pflanze erspart und damit jedenfalls auch die Calciumoxalatbildung unterdrückt. Ob an Stelle der Oxalsäure Kohlensäure beim Stoffwechsel erzeugt wird, oder ob die des Carbonats in den Blatthöhlen nur Athmungskohlensäure ist, muss noch ermittelt werden. Von den *phanerogamen Saprophyten* habe ich *Monotropa Hypopitys* und *Neottia Nidus avis* untersucht und ihnen reihen sich direkt an *Limodorum abortivum, Corallorhiza innata, Epipogum aphyllum* etc. Die oberirdischen Theile sehr

arm an Kalkoxalat (*Monotropa Hypopitys* im Blatt monocline Krystalle) oder frei davon (*Neottia*), in den unterirdischen ebenfalls wenig (*Neottia* kleine Rhaphidenbündel und spärliche Einzelkrystalle in den stärkeführenden Zellen der fleischigen Saugwurzeln).

Endlich musste es mir von Interesse sein, auch die Insektivoren auf ihren Calciumoxalatgehalt zu prüfen. Der Besitz von oft stattlichen Assimilationsorganen machte es von vornherein wahrscheinlicher, dieses Salz in ansehnlichen Mengen zu erwarten. Diese Vermuthung bestätigte sich merkwürdiger Weise nur zum Theil, insofern allerdings *Nepenthes*-Species (ich untersuchte *N. Phyllamphora, N. gracilis, N. destillatoria, N. ampullacea* und *N. Rafflesiana*), *Darlingtonia* und *Sarracenia*-Arten geringe oder stattliche Mengen oxalsauren Kalkes enthielten, während *Dionaea muscipula, Drosera capensis, rotundifolia, dichotoma* und *spathulata* nur ganz geringe Spuren dieses Salzes erkennen liessen. *Utricularia montana* schliesst sich den letztgenannten Insektenfängern an, wogegen andere *Utricularien* und *Pinguicula* frei von Calciumoxalat gefunden wurden. Ich begnüge mich einstweilen mit diesen aphoristischen Angaben, da auf breiterer Basis angelegte Untersuchungen erst später zum Abschluss kommen.

Zu p. 43.

Sekundäres Calciumoxalat ist dasjenige, welches sich in einem Blatt vom Tag des Wachsthumsabschlusses an bildet, excl. des quartären. Wieviel von dem beim Wachsthumsvorgang selbst gebildeten Oxalat primär und wieviel sekundär zu nennen ist, können Verdunklungsversuche darlegen. Im Dunkeln unterbleibt die Bildung sekundären Oxalats. Jedenfalls ist die Hauptmenge des oxalsauren Kalkes im Blatt, welche nach Beendigung des Wachsthums entsteht, sekundäres Salz. Vergleicht man zwei nach einander entstandene Blätter gleicher Grösse eines Zweiges miteinander, so ist vorauszusehen, dass das ältere mehr Calciumoxalat führen wird, als das jüngere; der Mehrbetrag ist sekundäres Oxalat. Ich führe zur Erläuterung nur ein Beispiel an: Von zwei ausgewachsenen, gleich grossen hintereinander stehenden Blättern von *Nertera depressa Banks.* maass jedes 10,5 mmq. Das etwa 14 Tage ältere enthielt 189 Rhaphidenbündel, das jüngere nur 141; es sind also hier in 14 Tagen ca. 48 Rhaphidenbündel erzeugt worden

und zwar müssen diese entschieden sekundärer oxalsaurer Kalk sein, ohne dass man behaupten kann, dass es der gesammte sei, denn es braucht nicht aller bis zur Einstellung des Wachsthums erzeugte primär zu sein. Am reichlichsten wird sich das sekundäre Salz in solchen Blättern vorfinden, welche lange Zeit hindurch thätig sind, in mehrjährigen Blättern, sofern sie überhaupt oxalsauren Kalk erzeugen; ebenso in lange persistirenden Stengelorganen, welche die physiologischen Funktionen der Blätter übernommen haben, wie z. B. in denen der *Cacteen*. Bei diesen liegt der besondere Fall vor, dass bei einem viele Jahre hindurch anhaltenden Vegetiren des Stammes keine Parenchymzelle, kein Gewebe verloren geht, dass aller oxalsaure Kalk, der nach dem primären erzeugt wird, sich in relativ eng begrenztem Raume ansammeln muss. In der That sind die oberflächlich gelegenen Zellen besonders bei den meisten *Cacteen* oft gestopft voll oxalsauren Kalkes. So haben fast sämmtliche *Mammillaria-, Melocactus, Echinocactus-* (z. Th.), *Opuntia-, Peireskia*-Arten eine zusammenhängende Krystalldrusenschicht unter der Epidermis, während bei *Cereus, Pilocereus, Echinocereus, Phyllocactus, Epiphyllum, Rhipsalis, Lepismium, Echinopsis* etc. die Krystallzellen unregelmässig vertheilt aber ebenfalls äusserst zahlreich sind. Es wäre leicht, mehr solcher Beispiele anzuführen.

Zu p. 44.

J. Möller ist auch bereits früher die Beziehung zwischen dickwandigen Zellen und Kalkoxalat aufgefallen, denn er sagt in der „Anatomie der Baumrinden“ p. 420 (Berlin 1882) „dass die Krystalle in der Umgebung sklerotischer Elemente reichlicher auftreten als in den aus dünnwandigen Zellen bestehenden Rindentheilen“ und schliesst auf ein Abhängigkeitsverhältniss zwischen Krystallablagerung und Sklerosirung, indem er eine allerdings sehr unwahrscheinliche Argumentation beifügt, „durch die Bildung sklerotischer Schichten würde die Concentration des Zellinhalts benachbarter Zellen und damit die Ausscheidung der Krystalle befördert. *Rosanoff*[1] hatte bereits 1871 eine Art Wechselbeziehung zwischen Krystallbildung und Celluloseerzeugung bemerkt, nur sind seine Vorstellungen schon deshalb unhaltbar, weil

[1] *Rosanoff, S.* Ueber den Bau der Schwimmorgane von *Desmanthus natans Willd.* (Bot. Ztg. 1871. No. 49. 828—38.)

er die Kalkoxalaterzeugung als das primäre der Verdickung der Membran vorangehen lässt, was in den von mir beobachteten Fällen nicht statthatte. Trotzdem sei die betreffende Stelle der Vollständigkeit wegen hier angeführt:

„Ich würde diese krystallführenden Zellen nicht so weitläufig beschrieben haben, hätte ich nicht in ihrer Bildungsweise bei *Desmanthus natans* einen besonders augenfälligen Ausdruck einer sehr allgemeinen Regel erkannt. Zahlreiche an verschiedenen anderen Pflanzen angestellte Beobachtungen überzeugen mich, dass das Auftreten anorganischer Niederschläge, besonders des oxalsauren Kalkes in chlorophyllosen Zellen stets von bestimmten Veränderungen in der Entwickelung der die Niederschläge einschliessenden Zellen begleitet wird. Es erleidet nämlich das Wachsthum der Zellhaut und die Bildung neuer Scheidewände eine bedeutende Modificirung. Im ursprünglichen chlorophyllosen Gewebe sind sämmtliche Zellen einander gleich; erscheinen nun in einigen unter ihnen Krystalle von oxalsaurem Kalk z. B., so erfolgt das Wachsthum ihrer Zellhaut weit träger, als dasjenige ihrer krystallosen Nachbarzellen und stockt bald gänzlich. Gleichzeitig aber erhält die krystallführende Zelle die Eigenschaft, sich rasch in kleine Theile zu zerklüften. Die in anderen Zellen zur Verdickung der Membran dienende Cellulose scheint hier als Material für die Bildung innerer Scheidewände verbraucht zu werden. Auch die von mir beschriebenen, mit Cellulosebalken versehenen krystallführenden Zellen von *Kerria, Ricinus, Aroideen, Hoya carnosa* etc. sind stets kleiner als ihre Nachbarzellen."

Zu p. 46.

Sehr gute Beispiele für die Nachbarschaft von Cellulosemassen und Calciumoxalat finden wir ferner in den Samen sämmtlicher *Aristolochia-* und *Asarum*-Arten. Immer ist bei diesen Pflanzen die zweite Zelllage der Samenschale (von aussen gerechnet) aus parenchymatischen Zellen zusammengesetzt, deren innere der Samenoberfläche parallele Wandungen sehr stark verdickt sind. Gleichzeitig aber liegt im Lumen jeder Zelle dieser Schicht ein Einzelkrystall und mitunter daneben noch Krystallsand. (*v. Solereder, H.,* Beitr. zur vergl. Anatomie der *Aristolochiaceen.* Engler's bot. Jahrbücher. 10. Bd. 4. H. 1889.)

Zu p. 49.

Die Keimversuche mit *Lupinus luteus* wurden auf meine Veranlassung von Herrn *Warlich* wiederholt unter verschiedenen Bedingungen, immer aber mit demselben Erfolge: starke Corrosion der Calciumoxalat-Täfelchen und endliches mehr oder weniger vollständiges Verschwinden derselben. Für die Calciumoxalatdrusen im Endosperm vieler *Umbelliferen* habe ich das Verschwinden beim Keimen ebenfalls nachgewiesen. Da genannter Herr seine Beobachtungen, die er noch auf eine grosse Anzahl anderer Objecte ausdehnte, in nicht ferner Zeit zu publiciren gedenkt, begnüge ich mich an diesem Ort damit, auf diese Bestätigung meiner Beobachtung hingedeutet zu haben. Auch über die den oxalsauren Kalk betreffenden Lösungs- und Zersetzungserscheinungen innerhalb der lebenden Pflanze sind eingehende Untersuchungen bereits im Gang und werden deren Resultate demnächst veröffentlicht werden.

Zu p. 59.

Die von *Aë* 1869 behauptete Beweglichkeit des Kalkoxalats ist nach meinen Untersuchungen nicht vorhanden, was natürlich nicht ausschliesst, dass unter Umständen Kalkoxalat von der Pflanze gelöst werden kann. Dass letzteres möglich ist, beweist die Existenz stark corrodirter und im Zerfall begriffener Krystalle in keimenden Samen, austreibenden Zwiebeln etc. Die Angabe *Aë*'s „die im Winter unterhalb der Baumknospen in grosser Menge vorhandenen krystallinischen Ablagerungen von oxalsaurem Kalk verschwinden beim Austreiben der Knospen im Frühjahr sichtlich und werden in die jungen Sprosse übergeführt" ist bereits 1883 von *Rauner*[1] als falsch nachgewiesen und zwar an folgenden Pflanzen: *Tilia parvifolia, Betula alba, Prunus Padus, Pyrus Malus, Crataegus sanguinea, Populus larifolia, Quercus pedunculata, Sambucus racemosa, Syringa vulgaris, Sorbus aucuparia, Pinus silvestris* und *Larix Europaea*. *Rauner* konnte nirgends eine Verschiedenheit der Ablagerung in den wechselnden Jahreszeiten beobachten, jedenfalls also keine wesentliche Abnahme constatiren.

[1] *Rauner, St.* Ueber das Schicksal der krystallinischen Kalkoxalatablagerungen in der Baumrinde. (Arbeiten der St. Petersburger naturforschenden Ges. Bd. XIII. Lief. 1. 24—33.)

Leider ist *Rauner*'s Untersuchung durch die Anwendung einer ungenauen Untersuchungsmethode sehr entwerthet; denn wenn dieser Forscher in den fünf zuletzt genannten Pflanzen „überhaupt keine krystallinischen Ablagerungen von Kalkoxalat fand, welche doch zweifellos solche enthalten, so kann dieser Irrthum nur in dem Gebrauch einer mangelhaften Methode seinen Grund haben. *R.*'s positive Funde dürfen jedoch anerkannt werden, und diese beweisen, dass eine Abnahme der Rindenkrystalle beim Austreiben der Knospen nicht stattfindet und dass etiolirte Lindensprosse ebenso reichlich Krystalle in der Rinde führen, als normale.

Später, 1883, hat sich *Pick*[1] direkt gegen eine Verminderung oder ein Verschwinden der Krystalle ausgesprochen.

Zu p. 60.

Von den zahlreichen von mir angestellten Untersuchungen über das Auftreten des Calciumoxalats im Blatt während dessen Entwickelung berichte ich hier nur über folgende:

Syringa vulgaris.

Die Blattgebilde in der Herbstknospe enthalten viel Kalkoxalat in Form von Solitären. Nervenoxalat ist nur in geringer Menge vorhanden; dasselbe vermehrt sich bis Mitte October nicht wesentlich, während die Maschenkrystalle merkbar zahlreicher und grösser werden und sich gehäuft an der Blattspitze finden.

Ampelopsis quinquefolia.

Der Vegetationskegel und die denselben einhüllenden jungen Blattorgane sind reich an primärem Oxalat, welches in Gestalt von Drusen in grossen Mengen unter der morphologischen Oberseite der Blattanlage, in Gestalt von Rhaphiden-Bündeln mitten im Mesophyll (etwas mehr der Unterseite genähert) liegt. Das von Drusen gebildete Nervenoxalat (Haupt- und Nebennerven) nimmt während des Sommers constant zu. Maschendrusen nur in der Spitze und am Blattrand, wenig Rhaphidenbündel parallel der Blattoberfläche unter dem Palissadenparenchym gelagert.

[1] *Pick*, *H.* Ueber die Bedeutung des rothen Farbstoffes bei den Phanerogamen und die Beziehungen desselben zur Stärkewanderung. (Bot. Centralblatt. XVI. Bd. 1883. p. 379.)

Crataegus Oxyacantha.

Alle Knospentheile reich an Oxalat (Hendyoëder, Zwillinge und Drusen; erstere besonders in der Nähe der Nerven). Das Nervenoxalat nimmt in reichem Maasse im Laufe des Sommers zu, so dass die Nerven von Solitären und Drusen wie gepflastert erscheinen. In Spitze und Rand der Lamina Häufung von Drusen und in den Maschen allmälige Zunahme der grossen Drusen im Schwammparenchym und kleinerer im 2—3 reihigen Palissadenparenchym zu constatiren.

Aehnliche Resultate ergaben die Untersuchungen der Blätter von *Fagus sylvatica, Betula alba, Acer*-Arten, *Quercus*-Arten und vielen anderen Bäumen und Sträuchern,[1] allein es scheint mir

[1] Neuerdings sind von *C. Wehmer* (Das Verhalten des oxalsauren Kalkes in den Blättern von *Symphoricarpus*, *Alnus* und *Crataegus*. Bot. Ztg. 1889. Nr. 9 u. 10). Untersuchungen über die Bildung des Calciumoxalates in den Kurz- und Langtrieben von *Symphoricarpus racemosa*, *Alnus glutinosa* und *Crataegus Oxyacantha* angestellt worden. Da die Resultate der Untersuchung erst in diesem Jahre publicirt worden sind, kann ich nur an dieser Stelle einige Worte über dieselbe einfügen. Wenn auch blosse Schätzungen der Grösse und Zahl der Krystalle, Drusen etc. niemals ein sicheres Resultat werden ergeben können, so glaube ich doch, dass durch die *W.*'schen Untersuchungen ein annähernd richtiges Bild der Kalkoxalat-Bildung in den Blättern der untersuchten (!) Pflanzen erhalten worden ist. Allein einzelne Folgerungen *Wehmer*'s sind nach meinen Erfahrungen als verfrüht und nicht begründet zu betrachten. A priori kann z. B. bei gleichbleibender Grösse und Zahl der Krystalle etc. im Blatt doch eine Ableitung von Calciumoxalat (Wanderung *Schimper*'s) möglich sein, ebenso wie bei der Stärke, vorausgesetzt, dass der Zufluss dem Abfluss gleichkommt. Einfaches Taxiren kann da nicht Aufschluss geben. Satz 7, p. 174 ist meiner Ansicht nach hinfällig, denn auch wenn eine gleichmässige Auswanderung oder Zersetzung des Kalkoxalats stattfände, würden die ältesten (Oktober-) Blätter am reichsten an Oxalat sein müssen. Es sind ausserdem unter *Wehmer*'s ganz approximativen Angaben eine ganze Menge zu finden, die eher für die Möglichkeit der Wanderung des oxalsauren Kalkes sprechen, als für das Gegentheil, so die Angaben über die unteren Blätter der Kurztriebe und Langtriebe von *Symphoricarpus*, ferner besonders über die Langtriebe von *Crataegus*, bei denen das Verschwinden, wie die Flächenmaasse der Blätter beweisen, auch nicht etwa auf ein Auseinanderrücken der Drusen in Folge Wachsthums geschoben werden kann. *Wehmer* erklärt dann einfach: „es lagen abnorme Verhältnisse vor“ (p. 174), aber worin diese Abnormität bestehen soll, erfahren wir nicht. Um mit Erfolg den Weg der Induction zu betreten, durfte sich *W.* nicht mit drei Pflanzen begnügen und vor allem sich nicht der Mühe des Zählens und Messens entziehen. Wie ich vorn im Text gezeigt habe, liegen aber gewichtige Gründe vor, eine Wanderung des Kalkes

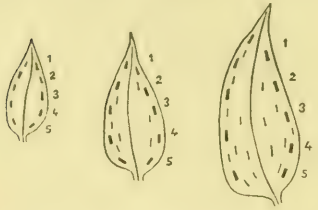
zweifellos, dass grosse Verschiedenheiten bezüglich der Oxalat-Bildung in den Blättern verschiedener Pflanzen herrschen (man denke nur an auffallend früh vor sich gehende Nervenpflasterung bei *Trifolium* und Verwandten), so dass ich es für verfrüht halte, die an relativ wenigen Pflanzen erhaltenen Resultate zu generalisiren oder jetzt schon typische Bildungsmodi aufzustellen. Nur ganz im Allgemeinen lassen sich einige Erscheinungen als häufig wiederkehrend hervorheben.

Das bereits in den die Herbstknospe bildenden Blättern vorhandene Oxalat erlangt durch die Wachsthumsvorgänge eine für jeden Blatt-Typus constante Vertheilung. Sehr häufig wird es durch die in der mittleren Partie der Lamina besonders lebhaft vor sich gehenden Wachsthumsprocesse nach Spitze und Rand des Blattes geschoben und erscheint da besonders gehäuft. In den während des Auswachsens erzeugten Maschenparenchymzellen wird Oxalat neu gebildet, reichlich z. B. bei *Fagus sylvatica* (Drusen), *Quercus*-Arten (Drusen und Solitäre), sehr spärlich bei *Betula alba* (Drusen), und *Acer*-Arten. Die Nerven der Knospenblätter sind häufig bereits mit Oxalat belegt (vide Fig. 41 Taf. II, Querschnitt durch die Herbstknospe von *Betula alba*), welches in den weitaus meisten Fällen während des Sommers stark zunimmt (Ausnahme: *Syringa vulgaris*). Blätter, welche eine Wachsthumszone an der Basis besitzen, zeigen jene Häufung des primären Oxalats (vgl. Fig. 45 Taf. II *Betula-Alba*-Blatt) an Spitze und Rand nicht, so die der *Liliaceen* und vieler *Monocotylen*. Die herzförmigen Blätter der *Dioscoreaceen* schliessen sich an die Blätter unserer Laubbäume an, auch bei ihnen ist eine marginale und apicale Häufung des Oxalats deutlich bemerkbar; in ausgezeichneter Weise z. B. bei *Testudinaria elephantipes*. Wenn das junge Blatt wenig primäres Oxalat besitzt und relativ wenig bei seinem Flächenwachsthum hinzu kommt oder hauptsächlich nur zur Vergrösserung der bereits vorhandenen Krystalle verwendet wird, so wird die spätere Vertheilung der Krystalle im Blatt ein Bild der Wachsthumsweise des Blattes liefern; ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür sind die Blätter von *Myrsiphyllum asparagoides* deren zuerst gebildete

---

nach unten anzunehmen, denn es wäre sonst die bestimmte Lagerung des Calciumoxalats im Stengel nicht erklärbar; eine Zersetzung im Blatt gebildeten Oxalats ist mir daher sehr wahrscheinlich, wobei trotzdem eine fortwährende Zunahme des Salzes im Blatt stattfinden kann. Ich komme auf die *Wehmer*'sche Untersuchung noch an anderer Stelle zu sprechen.

Rhaphidenbündel sich links und rechts am Blattrand finden, nach und nach weiter auseinanderrücken, bis neue kleine zwischen ihnen eingefügt werden; schematisch ist der Vorgang folgender:



Die angenommenen 2 × 5 Rhaphidenbündel des Blattes rücken mit dessen Flächenvergrösserung auseinander und scheinbar mehr an den Rand. Die Spitze ist hier anfangs frei von Oxalat und bleibt es auch; je älter das Blatt wird, umsomehr werden kleine neue Rhaphidenbündel zwischen die alten eingeschoben. Es sei hier noch bemerkt, dass die marginal gelegenen Rhaphidenbündel der linken und rechten Seite nur da gleichzeitig im Polarisationsapparat aufleuchten, wo die Ränder des Blattes parallel laufen. Convergiren diese, so sind die rechts liegenden Rhaphiden dunkel, wenn die der linken Seite aufleuchten, eine Erscheinung, welche bei Zählungen im Polarisationsmikroskop berücksichtigt werden muss, bisher aber sicher vernachlässigt worden ist, da keiner der Autoren neuerer Arbeiten eine Angabe darüber macht. Arbeiten, in denen die Menge und Grösse der Kalkoxalatausscheidungen nur geschätzt wird, letztere nicht genau gezählt und gemessen werden, haben meiner Meinung nach wenig Werth, da recht beträchtliche Täuschungen eben in Folge von durch Wachsthumserscheinungen hervorgerufenen Veränderungen im Object vorkommen können. Meine Angaben basiren alle auf genauen Messungen und Zählungen. Zu letzteren wurden in Quadratmillimeter eingetheilte Deckgläser benutzt, zu ersteren Ocularmikrometer. Ich habe die Zählungs- und Messungstabellen hier nicht beigegeben, weil dieselben in genauester Weise mit ausserordentlichem Fleisse auf meine Anregung hin von Herrn stud. *Warlich* fortgesetzt und ergänzt worden sind, und demnächst von diesem Herrn veröffentlicht werden sollen.

Zu p. 65.

Vor kurzer Zeit entdeckte *Zopf*[1] in dem von ihm *Saccharomyces Hansenii* benannten Pilz einen Oxalsäure-Erzeuger, der sich

[1] *Zopf*, *W.* Oxalsäuregährung bei einem typischen (endosporen) *Saccharomyceten*. (Ber. d. d. bot. Ges. 1889. H. 2. p. 94.)

anderen wie *Penicillien, Sclerotinien* etc. anreiht. Es wurde von diesem Forscher zugleich nachgewiesen, dass dieser Pilz im Stande ist, Oxalsäure aus folgenden Substanzen zu erzeugen: Galactose, Traubenzucker, Rohrzucker, Milchzucker, Maltose, Dulcit, Glycerin und Mannit.

Zu p. 66.

Von den Farnen erwies sich mir später als reich an Calciumoxalat *Todea pellucida*, bei welcher die meisten Blattzellen monokline Krystalle (bisweilen auch Sphärite) enthalten; ohne Krystalle waren dagegen *Trichomanes reniforme* und *radicans*.

Zu p. 68.

Ohne Kalkoxalat sind nach *Borodin* (Mittheilungen auf dem internation. Congress für Botanik u. Gartenbau in St. Petersburg. Mai 1884. Vgl. Bot. Centralbl. XXI. Bd. 1885. Nr. 7. p. 222) unter den *Papilionaceen* sämmtliche *Genisteen* und viele *Galegeen* (*Astragalus, Colutea*). Später mitgetheilt von *Borodin*: Sur la répartition des cristaux d'oxalate de chaux dans les feuilles des Légumineuses et des Rosacées (Bull. Congr. internat. de bot. et d'horticult. à St. Pétersbourg p. 69—77. 1885).

Zu p. 80.

Berthold sagt über die Aufhängung der *Rosanoff*'schen Drusen wörtlich: „Es lässt sich auch leicht nachweisen, dass in den jungen Oxalatzellen die Zellstofffäden, welche von der Membran sich zur Drusenhülle erstrecken, in Plasmafäden gebildet werden." (Protoplasmamechanik. p. 260.)

Zu p. 91. RHAPHIDEN.

Zu erwähnen ist hier noch, dass die Rhaphiden häufig, besonders wenn sie jugendlich sind, mit dem Messer geschnitten werden können; man ist im Stande, vom ganzen Rhaphidenbündel einen scharfen Querschnitt zu machen, auf welchem die einzelnen Rhaphiden ein feines Mosaik bilden, oft so, dass 4 oder 6 derselben je ein kleines Rechteck bilden.

Unter bestimmten Umständen treten in den Rhaphidenzellen, um das Bündel herum, zahlreiche tetragonale Krystalle auf. Herr

stud. *Warlich*, der diese Erscheinung näher untersuchte, wird demnächst darüber berichten.

Moebius[1] fand neuerdings bei der *Orchidee Mormodes citrina* Rhaphiden in langgestreckten Spiralzellen.

Von Rhaphidenpflanzen sind mir noch begegnet: *Nertera*-Arten *(Rubiaceen)*, *Myrsiphyllum*-Arten *(Smilaceen)*.

Zu p. 98. REACTIONEN DES OXALSAUREN KALKES.

Den vorn angeführten Reactionen sind noch zuzufügen: Isolirte Krystalle oxalsauren Kalkes geben mit Schwefelsäure Gypskrystalle und das von letzteren getrennte Filtrat liefert beim Verdampfen gut ausgebildete Krystalle von Oxalsäure. Von Gyps lassen sich die nadelförmigen Krystalle des Calciumoxalats leicht dadurch unterscheiden, dass jene in einer Chlorbaryumlösung sich mit einer feinkörnigen Schicht von schwefelsaurem Baryt überziehen, diese nicht; behandelt man Gypsnadeln mit einem Gemisch von Chlorbaryum und Salzsäure, so findet eine schnelle Umsetzung statt, während Calciumoxalatkrystalle bei gleicher Behandlung langsam verschwinden, ohne dass irgend ein Niederschlag entsteht. Löst man den Glührückstand oxalsauren Kalkes in Säure und neutralisirt mit oxalsaurem Ammoniak, so fällt oxalsaurer Kalk aus. Eine Lösung von Calciumoxalat in Salzsäure giebt mit Chlorbaryum keinen Niederschlag. Neutralisirt man aber die verdünnte salzsaure Lösung von oxalsaurem Kalk mit Ammoniak, so erhält man einen zweifachen Niederschlag: auf dem Boden tetragonalen oxalsauren Kalk, in der Haut auf der Oberfläche tetragonale und monocline Krystalle dieses Salzes gemischt. Behandelt man diese krystallinischen Niederschläge mit Kupferchlorid und filtrirt und wäscht den erhaltenen Niederschlag sorgfältig (!) aus, zertheilt ihn in Wasser und leitet Schwefelwasserstoff ein, bis alles Kupfer gefällt ist, so entstehen alsdann in der vom Schwefelkupfer abfiltrirten Flüssigkeit mit Chlorbaryum k e i n, mit Kalkwasser dagegen ein Niederschlag, welcher sich in Essigsäure nicht, in Salzsäure leicht löst, mit anderen Worten Calciumoxalat ist. Dampft man jene Flüssigkeit direct ein, so schiessen bald Nadeln reiner Oxalsäure an.

---

[1] *Moebius, M.* Ueber den anatomischen Bau der Orchideenblätter und dessen Bedeutung für das System dieser Familie. Habil. Schr. Heidelberg 1887.

Es ist in neuerer Zeit häufig das Calciumoxalat systematisch[1] verwerthet worden und bis zu einer gewissen Grenze darf man es auch wohl als zuverlässiges, anatomisches Merkmal betrachten; vor allem wird das primäre Oxalat fast immer in diesem Sinne zu gebrauchen sein. Allein nach dem vorn Gesagten ist die Entstehung besonders des sekundären (in seltneren Fällen sogar auch des primären: tetragonale Krystalle in Rhaphidenzellen!) Oxalats von äusseren Faktoren: Licht, Feuchtigkeit der Luft, Kohlensäuregehalt der letzteren, Kalk- resp. Nitrat-Reichthum des Bodens etc. abhängig, so dass die Schwankungen und Verschiedenheit im Oxalat-Gehalt bei Individuen derselben Art von verschiedenem Standort recht beträchtlich werden können. Es muss deshalb der oxalsaure Kalk in dieser Hinsicht gewiss mit grosser Vorsicht herangezogen werden.

Zu p. 114.

Krystallinische Ablagerungen von kohlensaurem Kalke beobachtete *Solereder*[2] in den Markzellen von *Cansjera parvifolia Kurz. (Olacinee.)*

Zu p. 134.

Solereder (*Engler*'s bot. Jahrb. Bd. 10. H. 4. 1889) beobachtete hin und wieder auch Cystolithen im Weichbast der Nerven *(Sparattanthelium Amazonum* und *Sp. Botocudorum β)*, ferner in dem die Gefässbündel umgebenden Gewebe *(Gyrocarpus asiaticus γ)*, endlich auch im Mesophylle *(Gyrocarpus rugosus)*.

[1] Ich weise auf folgende Arbeiten hin:

Fritsch, *K.* Anatomisch-systematische Studie über die Gattung *Rubus*. (Sitzungsber. der K. Ak. der Wiss. in Wien. Math.-naturw. Cl. Bd. XCV. 1887. 2 Taf.)

Hobein, *M.* Beitrag zur anatomischen Charakteristik der *Monimiaceen* unter vergleichender Berücksichtigung der *Lauraceen*. (Engler's bot. Jahrb. Bd. X. 1888. p. 51—71.)

Solereder, *H.* Beiträge zur vergl. Anat. der *Aristolochiaceen* etc. etc. (Engler's bot. Jahrb. Bd. X. H. 4. 1889. p. 410.)

Lauterbach, *C.* Untersuchungen über Bau und Entwicklung der Sekretbehälter bei den *Cacteen* etc. (Bot. Centralbl. Bd. 37. Nr. 9—13.)

Dalitzsch, *M.* Beiträge zur Kenntniss der Blattanatomie der *Aroideen*. (Bot. Centralbl. Bd. 25. Nr. 5—11.)

[2] *Solereder*. l. c. p. 98.

Ausser in den letztgenannten Fällen finden sich die Cystolithen in entsprechend geformten epidermoidalen Zellen, welche mehr oder minder tief in das Palissaden- oder Schwammparenchym eindringen und in der Regel nur mit einer kleinen Stelle an der unteren bezw. oberen Blattfläche sich betheiligen. Die Cystolithenzellen scheinen dem Mesophyll anzugehören, sind aber wie die Spicularzellen bestimmter *Capparideen (Radlkofer, Vesque)* Epidermiszellen, nur bei *Gyr. rugosus* und *G. asiaticus γ* gehören sie dem Hypoderm an. Die Cystolithen der Gattung *Gyrocarpus* haben eine regelmässige, kuglige oder ellipsoidische Gestalt, die von *Sparattanthelium* sind verzweigt. Immer besitzen sie eine beträchtliche Grösse, mitunter sind die der Unterseite kleiner als die der oberen.

ZWEITER THEIL.

KIESELSÄURE IN DER PFLANZE.

CAPITEL III.

AUFTRETEN DER KIESELSÄURE IM ALLGEMEINEN UND HISTORISCHES.

Ueberall im Erdboden findet sich Kieselsäure, sei es, dass sie in amorphem Zustand ein Product geologischer Prozesse ist oder von abgestorbenen *Diatomeen, Moosen, Equiseten, Gramineen* oder sonst welchen Pflanzen herrührt, sei es, dass sie entstanden ist bei der Zersetzung von Silicatgesteinen (Feldspaten etc.) durch kohlensaures Wasser und als reine lösliche Kieselsäure oder in Form löslicher Alkalisilicate den Boden durchsetzt; kein Wunder, wenn alle Gewächse in den wechselndsten Mengen von ihr in sich aufnehmen und an den verschiedensten Orten ihres Körpers ablagern. Es müssten daher alle im Freien erwachsene Pflanzen Kieselpflanzen genannt werden, wie wir sie allesammt Kalkpflanzen zu taufen gezwungen wären, weil keine ohne Kalk ist. Allein es ist eine längst bekannte Thatsache, dass bei Abwesenheit von Kalk überhaupt keine Pflanze sich zu entwickeln vermag, während die Möglichkeit, Pflanzen in kieselsäurefreien Nährlösungen zu erziehen, bereits 1862 von *Sachs*[1] dargethan wurde. *Sachs* gelang es, den unter normalen Verhältnissen ziemlich hohen Kiesel-

[1] *Sachs, J. v.* Flora. 1862. p. 52. und Wochenbl. d. Ann. d. Landwirthschaft. 1862. p. 184.

säuregehalt der Maispflanze auf 0,7 p. c. zu reduciren und in ähnlicher Weise wurde für zahlreiche andere Pflanzen die Entbehrlichkeit der Kieselsäure von *Knop*,[1] *Rautenberg* und *Kühn*,[2] *Birner* und *Lucanus*,[3] *E. Wolff* und *Fr. König*, und vielen Anderen constatirt. Die Versuche von *Jodin*[4] haben aufs Neue bewiesen, dass bei Abwesenheit von Kieselsäure im Boden die Pflanze (Zea mays) nicht nur den ganzen Vegetationscyclus vollbringt, sondern auch mehrere Generationen hindurch ohne Kieselsäure fortcultivirt werden kann, ohne dass sich eine auf Mangel an diesem Stoffe zurückführbare Degeneration bemerkbar macht.

In den Mericarpien von Lithospermum arvense - Individuen, welche auf kieselsäurefreiem Boden erwachsen waren, fand *v. Höhnel*[5] die Kieselsäure durch kohlensauren Kalk und organische Zellhautstoffe ersetzt.

Wenn nun auch der experimentelle Beweis der Entbehrlichkeit der Kieselsäure für an dieser Substanz besonders reiche Pflanzen wie *Equiseten*, *Diatomeen* etc. bisher wegen der Schwierigkeit, diese Pflanzen künstlich zu ziehen, noch nicht hat erbracht werden können, so dürfen wir doch nach Analogie schliessen, dass auch für sie wie für die beliebig gewählten Versuchspflanzen die Kieselsäure nicht zu den unbedingt nöthigen Nährstoffen gehört.

Es dürfte daher der Kieselsäure auch wohl schwerlich eine so wichtige Rolle zuzuschreiben sein, wie die ist, welche *E. v. Wolff*[6] ihr ertheilte und darin bestehen soll, ein rechtzeitiges Absterben der Blattorgane und die Auswanderung der in letzteren noch vorhandenen Mineralstoffe nach den Fruchtorganen zu bewirken.

Daraus folgt nun aber direkt auch, dass die Abgrenzung besonderer „Kieselpflanzen“ ebenso conventionell und — sit venia verbo — gezwungen sein muss, wie die der sogenannten „Kalkpflanzen“; wir pflegen als Kieselpflanzen herkömmlicher Weise solche Gewächse zu bezeichnen, welche in auffallendem Grade Kieselsäure begehren, welche erfahrungsgemäss da am üppigsten

[1] *Knop*. Versuchstat. 1862. Bd. 3. p. 176. Kreislauf des Stoffes I. p. 221.

[2] *Rautenberg* und *Kühn*. Versuchstat. 1864. Bd. 6. p. 359.

[3] *Birner* und *Lucanus*. Versuchstat. 1866. Bd. 8. p. 141.

[4] *Jodin, Victor*. Du role de la silice dans la végétation du maïs. (Ann. agronom. IX. p. 386—392).

[5] *v. Höhnel, Fr.* Abnorme Aenderungen wachsender Pflanzenorgane durch Beschattung.

[6] *E. v. Wolff*. Experimentalphysiologie. p. 150.

gedeihen, wo der Boden und das denselben durchtränkende Wasser unausgesetzt kieselsaure Alkalien oder gelöste Kieselsäure darbieten, und welche diese Kieselsäure in irgend welcher Form in ihrem Körper niederschlagen und als quantitativ bedeutenden Theil ihrer Asche beim Verbrennen zurücklassen. Im Allgemeinen zählen wir zu den Kieselpflanzen die *Diatomeen*, *Equiseten*, *Gramineen*, *Cyperaceen* (*Cypereen*, *Scirpeen*, *Caricеen*), *Ericaceen* und unter den Bäumen in erster Linie die *Aspen*, *Birken*, *Ulmen*, *Eschen*, *Eichen*, *Fichten*, *Kiefern* etc., denen, wie aus meinen späteren Mittheilungen hervorgehen wird, noch eine ganze Reihe von Pflanzen sich zugesellt. Kieselpflanzen „par excellence“ sind die *Palmen*, die *Podostemaceen*, viele *Orchideen*, *Musaceen*, *Marantaceen* und gewisse *Farne*.

Ich schliesse hiernach von der Bezeichnung „Kieselpflanzen“ vollständig diejenigen Pflanzen aus, welche auf kieselhaltigem Boden nur deshalb vorzugsweise wachsen, weil sie die Consistenz, die Temperatur und den Feuchtigkeitsgrad lieben, welche der sandreiche Boden zu gewähren vermag, wenn sie nicht gleichzeitig den Kieselsäuregehalt ihrer Asche vermehren. Das einzige Kriterium der Kieselpflanzen liegt allein in dem durch die chemische Analyse ermittelten Gestalt der Asche an Kieselsäure von beliebig zu normirender Höhe.

Durchmustern wir das gesammte Pflanzenreich an der Hand vorhandener chemischer Analysen bezüglich der Kieselsäureführung seiner Angehörigen, so können wir etwa folgendes wahrnehmen:

Der Kieselsäuregehalt der *Pilze* ist im Allgemeinen ein niedriger. Bei den schnell vergänglichen Fruchtkörpern derselben schwankt er etwa zwischen 0,09 und 2,09 p. c. der Reinasche z. B.

Morchella conica	0,09 p. c. der Reinasche.
Morchella esculenta	0,87
Tuber cibarium	1,14
Agaricus campestris	1,42
Helvella esculenta	2,09

Die langlebigen Fruchtkörper der *Polyporeen* und verwandter Pilze enthalten schon beträchtlich mehr Kieselsäure, die höchste Höhe erreicht der Kieselgehalt in der Sphacelia segetum von *Claviceps purpurea*

auf Roggen	2,54—3,59 p. c. der Reinasche
auf Gerste	12,51
auf Saat-Trespe	15,37

Die *Algen* sind auffallend arm an Kieselsäure, ausgenommen natürlich die *Diatomaceen*, wie folgende Zahlen illustriren:

Fucus vesiculosus 0,70 1,44—1,45 (Griffiths)
Fucus siliquosus 1,50
Fucus nodosus 0,41—1,20 1,50—152 (Griffiths)
Fucus serratus 0,43—1,38
Laminaria digitata 0,34—1,56
Laminaria latifolia 0,69
Laminaria saccharina 1,14
Sargassum bacciferum 1,63—2,60
Furcellaria fastigiata 0,21
Polysiphonia elongata 3,15
Eklonia buccinalis 4,05
Cladophora glomerata 10,60
Chara foetida 0,58—1,22.

Unter den *Flechten* sind es in specie die erdbewohnenden, welche, wie a priori zu erwarten war, sich durch einen auffallenden Reichthum an Kieselsäure auszeichnen. Die innige Verwachsung der Haftfasern mit den Bodentheilchen, die eine lebhafte Transpiration ermöglichende flächenhafte Ausbildung des Vegetationskörpers und die Langlebigkeit der meisten dieser Organismen ist einer Ansammlung von Kieselsäure in jeder Weise günstig und in der That erreicht der Procentgehalt der Reinasche an Kieselsäure bei einigen Flechten eine enorme Höhe. Die rindenbewohnenden Flechten stehen in dieser Beziehung jenen bedeutend nach. *Parmelia-*, *Ramalina-* und *Evernia*-Arten enthalten in der Jugend meist nur wenig mehr als 15 p. c., im Alter allerdings mitunter bis über 60 p. c. Kieselsäure, so z. B.

Ramalina fraxinea jung 13,9 p. c. der Reinasche.
Ramalina fraxinea älter — 58,7
Usnea barbata 14,37.
Parmelia parietina 64,65—68,46 (Thomson)

wogegen bei Erdflechten der Kieselsäuregehalt selten unter 40 p. c. sinkt:

Cetraria islandica 41,6—46,56
Gyrophora pustulata 60,92—61,30
Variolaria dealbata 67,89
Cladonia rangiferina 44,62—70,34
etc.

Der Standort spielt dabei eine wichtige Rolle. Die Apothecien sind meist besonders kieselsäurereich, reicher als die übrigen Theile des Thallus, wodurch sich der weite Abstand zwischen Maximal- und Minimalgehalt derselben Art erklärt.

Von den *Moosen* sind besonders *Sphagnum*-Arten häufig untersucht und oft reich an Kieselsäure gefunden worden. Meine eigenen zahlreichen Analysen von Laubmoosen lassen jedoch selten einen 12—15 p. C. übersteigenden Kieselsäure-Gehalt erkennen und stimmen mit den von *Wolff* (l. c. p. 136) angeführten

Sphagnum-Arten 10,90 p. c. der Reinasche
„ „ (Grunewald) 16,13
„ „ „ 12,16
„ „ (bei Berlin) 15,84

überein, während die hohen Zahlen, welche dieser Autor p. 135 angiebt, wohl aus der Analyse unreinen Materials erhalten sein müssen.

(*Sphagnum palustre* 41,69—61,76.
Moosdecke im Walde 23,86.
Sphagnum cuspidatum 42,91.)

Ziemlich constant erwies sich der Kieselsäuregehalt verschiedener *Lycopodium*-Arten, es enthielten z. B.

Lycopodium clavatum 13,01—13,94 p. c. der Reinasche.
Lycopodium Chamaecyparissus 11,82—13,60.
Lycopodium complanatum 10,06

Die *Farne* darf man im Allgemeinen als Kieselsäure-arm bezeichnen. Für gewöhnlich beträgt der Gehalt an dieser Substanz nur gegen 5 p. c.

Asplenium filix femina 2, 2—3, 83 p. c.
Aspidium filix mas 4,38

Der feuchten Sandboden liebende Spikant (*Blechnum Spicant Roth.*) weist dagegen oft 53 p. c. Kieselsäure auf, auch der Adlerfarn (*Pteris aquilina L.*), der sich durch seinen hohen Kaligehalt auszeichnet, hinterlässt in der Reinasche zwischen 43,65 und 49,85 p. c. Kieselsäure. (Hornberger.) Bei einigen Farn-Gattungen (*Vaginularia, Vittaria, Antrophyum*) liegen zwischen den gewöhnlichen Oberhautzellen langgestreckte, in ihrer Aussenwand stark verdickte, von der Fläche gesehen bastfaserartige Zellen eingestreut, die besonders bei *Antrophyum* in Folge ihrer bedeutenden Kieselsäureeinlagerung nach dem Glühen als nadelförmige Concretionen zurückbleiben und natürlich den Kieselsäure-Gehalt der

ganzen Pflanze merklich erhöhen. Wie ich weiter unten ausführlich mittheilen werde, besitzen die meisten *Trichomanes*-Arten in kleinen, die Nerven ihrer Blätter begleitenden und auch in Stamm und Wurzel häufig vorhandenen Deckzellen Kieselkörper, welche den Kieselsäure-Gehalt dieser Pflanzen zwischen 35 und 55 p. c. schwanken lassen.

Der Kieselsäure-Reichthum der Schachtelhalme ist bekannt. Fast alle *Equisetum*-Arten incrustiren die äusseren dicken Membranen der Stengel- und Blattepidermis mit Kieselsäure, und besonders sind es die zahllosen buckelförmigen Emergenzen auf der Oberhaut, welche verkieselt, den Stengeln eine so grosse Schärfe verleihen, dass man diese zum Poliren von Holz, Horn etc. verwendet. Der Gehalt der Reinasche an Kieselsäure steigt bisweilen bis 80 p. c. [*E. hiemale* (70—96 p. c.), *E. telmateïa, E. trachyodon, E. variegatum, E. arvense* (40—70 p. c.), *E. sylvaticum, E. pratense, E. palustre, E. litorale, E. limosum* etc. (meist unter 40 p. c.)].

Von den heterosporen Filicineen ist *Marsilia salvatrix* sehr kieselsäurereich und zwar ist die Kieselsäure hauptsächlich in den Membranen der die Blattnerven zusammensetzenden Zellen enthalten, während die Mesophyllzellen wenig von dieser Substanz in den Membranen führen. Verbrennt man ein Blatt dieser Pflanze, so bleibt das ganze Nervennetz als zartes in Salzsäure unlösliches Skelett zurück. Die Früchte haben kalkreiche Membranen.

Fichten, Kiefern etc. sind bereits als Kieselpflanzen aufgeführt worden. Ihr Kieselgehalt kann in der That recht hoch steigen; jedenfalls ist er ausserordentlich verschieden, sowohl wenn man die einzelnen Theile derselben Pflanze, als auch dieselben Theile verschiedener Individuen vergleicht. Im Allgemeinen darf man den Hauptsitz der Kieselsäure bei den Coniferen, welche von den *Gymnospermen* allein daraufhin genauer untersucht sind, in die Blätter verlegen, wie aus folgenden Zahlen hervor geht:

		p. c. der Reinasche.
Pinus sylvestris	Holz	3,31—12,0
	Nadeln	8,15—*69,99*
Pinus Abies	Holz	8,0—36,18
	Nadeln	5,0—*71,39*
Pinus Picea	Holz	10,87
	Nadeln	8,15
Pinus Pumilio	Holz	—5,27

Pinus Larix	{	Holz	3,60
	{	Nadeln	*84,34*
Pinus Strobus		Holz	5,81—8,72
Taxus baccata		Blätter	3,7

Mit dem Alter nehmen sämmtliche Theile an Kieselsäure zu:

Pinus Abies	Holz	20jährig	8,10	p. c. der Reinasche
		135 „	15,41	„
		172 „	18,03	„
		220 „	36,18	„
	Rinde	135 „	21,83	„
		172 „	30,45	„
		220 „	39,20	„
		etc.		

Unter den *Monocotyledonen* sind eine nicht geringe Zahl von Familien zu den Kieselpflanzen zu zählen, so die *Orchideen*, *Musaceen*, *Marantaceen*, (Juncaceen), *Gramineen*, *Cyperaceen* und *Palmen*. Von diesen sind alle ausser den *Gramineen* und *Cyperaceen* mit Kieselkörper enthaltenden Deckzellen ausgestattet, neben welchen die *Palmen* noch Grundgewebszellen mit ganz oder theilweise verkieseltem Inhalte in wechselnder Menge besitzen. *Gramineen* und *Cyperaceen* deponiren ihre Kieselsäure hauptsächlich in den Zell-Membranen; *Bambusa*, welche etwa 28 p. c. der Reinasche in den Membranen führt, setzt ausserdem kolossale Mengen von Kieselsäure in den Internodialhöhlen ab. Unter den Gräsern stehen bezüglich der Kieselsäureführung unsere Getreidepflanzen oben an und zwar je nach dem Alter

Triticum vulgare	mit	38,12—71,3	p. c. der Reinasche
Secale cereale	„	7,07—46,87	„ der Gesammtpflanze
Hordeum vulgare	„	28,81—59,9	„
Avena sativa	„	17,46—49,17	„

ferner unter den wild wachsenden Gräsern:

Arundo phragmites	mit	57,70—77,27	p. c.
Bromus Schraderi	„	—82,91	„
Hordeum pratense	„	—56,23	„
Phalaris arnudinacea	„	—55,70	„
Saccharum officinarum	„	—54,22	„

Bei *Poa annua* z. B. sinkt der Kieselsäure-Gehalt bis 16,58 p. c. herab, allein die Mehrzahl der bisher analysirten Gräser ent-

hält mehr als 30 p. c. Kieselsäure in der Reinasche; unter den *Cyperaceen* thuen sich viele *Carex*-Arten besonders hervor, in erster Linie die auf Felsen und Sandboden wachsenden z. B. *C. arenaria, Schreberi, leporina, rigida, atrata, supina, ericetorum, praecox, humilis* etc., doch sind auch die feuchten Wiesen und Torfmooren entnommenen *Carex*-Arten noch immer reich an Kieselsäure, wie folgende Zahlen beweisen mögen:

Carex caespitosa 53,25 p. c. Kieselsäure in der Reinasche.
Carex remota —40,1 „ „ „
Carex vesicaria —42,6 „ „ „

und unter den *Scirpeen* z. B.

Scirpus holoschoenus 40,1 „ „ „
Scirpus lacustris —50,99 „ „ „
etc.

Da der Kieselsäuregehalt in den verschiedenen Organen und Regionen der Pflanzen sehr verschieden ist, darf man zum Vergleich nur Zahlen benutzen, welche sich auf die Reinasche der Gesammtpflanze beziehen, denn es enthalten beispielsweise

	Triticum vulgare	*Secale cereale*	*Hordeum vulgare*
in den Körnern	0,09—7,55	0,52—14,6	—5,49
im Stock	49,58—73,57	46,52—65,17	36,15—62,19
in der Spreu	—86,75	—	68,50

Die grösste Menge Kieselsäure ist in den Spelzen und Grannen abgelagert, weshalb Aehren trotz der Armuth der Körner an dieser Substanz doch einen hohen Kieselsäuregehalt aufweisen und der letztere, während er bei der Entwicklung der Gräser allmälig zunimmt, zur Zeit der Fruchtreife rapid wächst. Magere Pflanzen enthalten immer mehr Kieselsäure als fette.

Der Kieselsäuregehalt der *Dicotyledonen* ist innerhalb weiter Grenzen schwankend; unter den kieselsäurereichen Pflanzen dieser Klasse hebe ich folgende hervor:

Ajuga reptans 21,71.
Filago germanica 21,58.
Galium Mollugo 21,75.
Symphytum officinale 21,22.
Scleranthus annuus 23,9.
Stachys arvensis 24,46.
Potentilla Fragrariastrum 24,89.
Lysimachia Nummularia 26,81.
Ulex europaeus 26,11.

Echium vulgare 26,46.
Ononis repens 27,37.
Erica cinerea 27,79.
Agrimonia Eupatoria 29,07.
Erica vulgaris 29,78—48,08.
Erica ciliaris 35,22.
Erica Tetralix 48,35.
Euphrasia Odontites 39,79.

Die untergetaucht lebenden Süsswasserpflanzen sind kieselsäurearm, von den sich über das Wasser erhebenden beziehentlich mit Schwimmblättern ausgestatteten thuen sich durch höheren Kieselsäuregehalt hervor:

Hottonia palustris 23,97 p. c.
Trapa natans 27,34—28,66.

Unter den Meerstrandspflanzen ist allein *Armeria maritima* durch einen wenigstens 10,84—14,58 p. c. betragenden Kieselsäuregehalt ausgezeichnet.

Verhältnissmässig am meisten Kieselsäure findet sich noch in den Rinden der Bäume, allein auch da wird der Betrag von 20 p. c. der Reinasche selten überschritten:

Rinde von	
Betula alba	4,11.
Ulmus campestris	8,77.
Alstonia constricta	20,39.
Cerasus avium	21,30.
Prunus Cerasus	21,28.
Fagus sylvatica	17,97.
Morus alba	15,25.
Moquilea (? Couepia)	93,2—96,3.

Wenn die Haargebilde intensiv verkieseln, oder es gar zur Ausbildung von Haarscheiben mit verkieselten Cellulosezapfen kommt, steigt natürlich der Kieselsäure-Gehalt auch der Blattorgane ziemlich hoch; so kann er beispielsweise bei *Nicotiana tabacum*-Blättern bis 18,39 p. c. steigen, bei *Humulus Lupulus* bis 33,17, bei *Morus alba* bis 37,71 etc. und ähnlich ist es aus demselben Grunde bei sehr vielen *Labiaten, Compositen, Rubiaceen, Solaneen, Boragineen, Loasaceen, Urticaceen, Cucurbitaceen* etc., bei *Ficus*-Arten, bei *Deutzia scabra* u. s. f.

Dagegen wird der Kieselsäure-Reichthum vieler *Chrysobalaneen, Dilleniaceen, Magnoliaceen,* ferner bei der Mehrzahl der *Podostemaceen* durch Verkieselung von Zellinhalten verursacht.

Im Allgemeinen pflegt auch bei den *Dicotyledonen* der Kieselsäuregehalt mit dem Alter zu steigen. Bei Blattorganen erscheint er nach dem Blattfall besonders hoch, weil gewisse Aschenbestandtheile vor letzterem durch den Blattstiel abgeleitet werden, doch auch bei den Blättern ist meist eine allmälige Anreicherung während der Vegetationsperiode, dauere dieselbe nun ein oder mehrere Jahre, zu bemerken. Zur Illustration mögen folgende Zahlen genügen:

Blätter

Fagus sylvatica	junge	28,50	p.	c.	der Reinasche.
	abgefallene	48,12	„	„	„
Quercus Robur	junge	4,41	„	„	„
	abgefallene	30,95	„	„	„

Blätter von	Kieselsäuregehalt in p. c. der Reinasche.
Fagus sylvatica	
16. Mai	1,62.
18. Juli	21,39.
15. October	30,50.
im November	32,64.
Trifolium pratense	
19. Mai	0,98.
1. Juni	0,92.
16. Juni	1,11.
30. Juni	1,25.
Humulus Lupulus	
10. August	15,52.
19. September	29,13.
Aesculus Hippocastanum	
6. Mai	1,76.
1. September	13,91.
Salix alba	
22. Juni	0,62.
17. September	1,56.

etc.

HISTORISCHES.

Der Erste, welcher auf die weite Verbreitung der Kieselsäure im Pflanzenreich aufmerksam machte, war *Saussure*[1]; obgleich er es unterliess, anatomische Untersuchungen über das Vorkommen der Kieselsäure im Pflanzenkörper anzustellen, so war er doch im Stande, interessante Mittheilungen zu machen über die Vertheilung derselben in verschiedenen Theilen der Pflanze, über ihre Zunahme mit dem Alter der Organe, über ihr Auftreten in den Blättern der Gräser und gewisser Dicotyledonen. *Humphry Davy*[2] ging schon anatomisch zu Werke, er konstatirte bereits mit dem Mikroskop, dass die Kieselsäure hauptsächlich in der Epidermis der Gräser, der Arten von *Equisetum*, des spanischen Rohres etc. deponirt sei; erst zwanzig Jahre später gelang es *Struve*[3] nachzuweisen, dass die Struktur der Epidermis dieser Gewächse nach dem Einäschern vollkommen unverändert bleibt, dass also die Kieselsäure die Membranen der Epidermiszellen überall durchsetzt und zwar als eine in Aetzkali lösliche Modifikation der Kieselsäure. *Kützing*[4] entdeckte fast gleichzeitig den Kieselsäuregehalt der *Diatomeen*-Panzer.

Die Kieselsäure für einen organisirbaren Stoff zu erklären, der für sich allein Gefässe in den Pflanzen zu bilden vermöge, das war die Errungenschaft der *Reade*'schen[5] Forschungen, die eher alles Andere als einen Fortschritt der Wissenschaft hervorriefen.

Die Beobachtungen *Struve*'s wiederholend, kam *Meyen*[6] zu der Ueberzeugung, dass der Ort der Kieselsäure-Ablagerung in der Epidermis die äusserste Membranschichte sei, wo diese Substanz schon bei Lebzeiten als solche deponirt wird und nicht erst beim Glühen sich bildet, denn auch ohne Hitze bei Anwendung von concentrirter Schwefelsäure behält man sie schliesslich zurück in Form glasartiger Lamellen. Letzterer Ansicht trat *Schleiden*[7] entgegen, indem er die Kieselsäure in Gestalt kleiner

---

[1] *Saussure*, Recherches sur la végétation. 1804. p. 299.

[2] *Humphry Davy*, Elements of agricultural chemistry sec. edit. 1814. 57.

[3] *Struve*, De silicia in plantis nonnullis, Berol. 1835.

[4] *Kützing*, Kieselschaalige Bacillarien. 1844. p. 8.

[5] *Reade*, London and Edinburgh phil. Mag. and Journ. of Science, XI. p. 13. 413.

[6] *Meyen*, Physiologie. 2. Bd. 1838. p. 537.

[7] *Schleiden*, Grundzüge der wiss. Bot. I. Aufl. 1842. I. p. 170.

Blättchen, Körnchen oder Nadeln in die Membran eingelagert glaubte, freilich ohne einen schlagenden Beweis dafür erbringen zu können. Eine wesentliche Förderung erfuhr die Kenntniss der Verkieselung von Pflanzenzellen durch *Payen*'s[1] Arbeiten, der die Ablagerung der Kieselsäure mit der Einlagerung organischer Verbindungen in die Cellulosemembran vergleicht und sie zum ersten Male als „Incrustation" bezeichnet, wogegen *Kützing*[2], allerdings letzteren Ausdruck auch anwendend, der Ansicht ist, dass die Kieselsäure sich nur auf der Aussenseite der Zelle ablagert, nur einen Ueberzug bildet und als solcher den organischen Zusammenhang der Zellen untereinander aufhebt. Die fast aus reiner Kieselsäure bestehenden Panzer der Bacillarien liefern nach ihm den Beweis, dass reine Kieselsäure ohne Cellulose, ohne Eiweisssubstanzen, ohne organische Stoffe überhaupt unmittelbar zur Bildung organischer Formen beitragen könne. Wichtige Beiträge zur Lehre von der Verkieselung pflanzlicher Gewebe lieferte auch *Crüger*[3] mit seinen Mittheilungen über die Verkieselung ganzer Zellen der *Cauto*-Rinde, der Membranen vieler Zellen der Rinde und des Holzes sowie der Blätter von *Tectona grandis Petraea arborea* und *volubilis*, in denen er zugleich zu begründen suchte, dass nur abgestorbene Zellen verkieseln können und dass die Kieselsäure ein Excret sei. *Hugo von Mohl* hob später mit Recht hervor, dass zu dem Beweis dieser Behauptungen von *Crüger* nur die *Cauto*-Rinde hätte herangezogen werden dürfen, da es sich nur bei ihr um abgestorbene Elementarorgane handeln konnte. *Sanio*'s[4] Untersuchungen führten zur Bestätigung der Annahme *Payen*'s, dass die Kieselsäure nicht auf die Oberfläche der Zellen secernirt wird, sondern im äusseren Theil der Zellmembran selbst zur Ablagerung kommt und *Schnitzlein*[5] suchte im Anschluss an *Sanio* an der Hand seiner Beobachtungen der Verkieselung der Trichome von *Deutzia scabra* die Annahme einer Verbindung der Kieselsäure mit der Cellulose, also der *Reade*'schen Organisationsfähigkeit der Kieselsäure, zu stützen. *Wicke*[6] publi-

[1] *Payen*, Mémoires sur le développement des végétaux. 1844. p. 313.
[2] *Kützing*, Philosophische Botanik. 1851. I. p. 137. 292.
[3] *Crüger*, Bot. Ztg. 1857. p. 281.
[4] *Sanio*, Linnaea XXIX. H. IV. p. 385.
[5] *Schnitzlein*, Wiss. Mitth. der phys.-med. Soc. in Erlangen. Bd. I. H. 2. p. 74.
[6] *Wicke*, Bot. Ztg. 1861. p. 97 ff.

cirte Anfang des Jahres 1861 eine Reihe von Beobachtungen über das Vorkommen und die physiologische Verwendung der Kieselsäure bei den Dicotyledonen, Beobachtungen, welche sich in der Hauptsache auf die Verkieselung der Brennhaare von *Urtica, Loasa,* der Haare von *Pilea, Morus, Ulmus, Humulus, Parietaria, Helianthus, Solidago* etc. beziehen, ferner auf die Epidermis von *Ficus elastica, australis, diversifolia,* von *Fagus, Quercus, Corylus, Carpinus, Platanus, Castanea, Populus, Morus, Tilia* u. s. f.

Viele der von *Wicke* gemachten Aeusserungen tragen einen allzu speculativen Charakter, als dass sie bedeutenden historischen Werth beanspruchen könnten. Merkwürdig ist der Gegensatz, welchen *Wicke* zwischen frischen und abgestorbenen Nadeln von *Pinus Abies* und *Pinus Larix* in Bezug auf den Kieselsäuregehalt constatirte und welcher die Vermuthung nahe legen musste, dass die Kieselsäure-Incrustation der Blätter mit deren Absterben in Verbindung steht, da nämlich frische Blätter keine Skelette, abgestorbene dagegen sehr deutliche lieferten.

Von hohem wissenschaftlichen Werth sind die Mittheilungen *Hugo von Mohl*'s[1] über das Kieselskelett lebender Pflanzenzellen aus demselben Jahre (1861), welche die früheren Untersuchungsmethoden kritisch behandeln, neue empfehlen und sich dann eingehend mit den äusseren Merkmalen beschäftigen, welche auf einen hohen Kieselsäuregehalt eines Pflanzenorgans mit einiger Sicherheit schliessen lassen, so das halbmetallische Aussehen mancher Blätter (von *Petraea volubilis, guianensis, Elvira biflora,* manchen *Dilleniaceen,* Arten der Gattungen *Davilla, Hirtella,* von *Grangeria borbonica, Chrysobalanus Icaco, Canto*-Baum), die ausgezeichnete Härte, die einen Klang, fast wie bei dünnem Metallblech, und Knirschen und Stumpfwerden des Messers beim Schneiden hervorruft (*Ficus Sycomorus* etc.). *Mohl* wies bereits nach, dass verwandte Pflanzen zwar im Allgemeinen ein analoges Verhalten bezüglich der Verkieselung zeigen, dass aber auch nicht selten auffallende Unterschiede zwischen einander nahestehenden Gewächsen sorgfältiger Beobachtung nicht entgehen können. Das äussere Ansehen eines Blattes lässt, wie *Mohl* feststellte, in der Regel nicht erkennen, ob dasselbe Kieselsäure enthält oder nicht, ebenso wenig grosse Festigkeit; so sind die harten Blätter von

[1] *H. v. Mohl*, Bot. Ztg. 1861. p. 209. 217. 225.

Mahonia aquifolium, *Berberis ilicifolia*, *Drimys Winteri*, *Angophora cordifolia*, *Rhododendron*-Arten, *Coffea arabica*, *Buxus sempervirens*, *Hakea gibbosa*, die *Cladodien* von *Ruscus aculeatus*, die Blätter von *Yucca filamentosa*, *gloriosa*, *Phormium tenax*, *Cycas revoluta* etc. auffallend arm an Kieselsäure und hinterlassen kein Skelett; oft sind es gerade dünne Blätter, die ein solches am besten liefern. Bei vielen *Borragineen* und *Synanthereen*, bei *Curatella americana* erweisen sich die beim Trocknen der Blätter als weisse Knötchen erscheinenden Epidermistheile als Kalk- und Kieselsäure-reich und Aehnliches gilt für die Früchte von *Coix*, *Scleria* etc. Die ausgedehnten Untersuchungen *Mohl*'s führten ihn zu dem Ergebnisse, dass *Payen*'s Ansicht, die Kieselsäure sei in die organische Substanz der Zellwand eingelagert, den Thatsachen entspricht, denn die verkieselte Membran wird durch Jod gelb oder braun gefärbt, sie bleibt selbst bei hohem Grad von Verkieselung noch biegsam und quellbar, sie contrahirt sich beim Einäschern umsomehr, je weniger Kieselsäure sie enthält und rollt sich auf, wenn eine Seite mehr Kieselsäure führt als die andere; endlich, es bleiben die feinsten Sculpturen, Knötchen, Streifen etc. bestehen, gleichgültig, ob man mit Flusssäure die Kieselsäure, oder durch Glühen die organische Substanz entfernt; je mehr Kieselsäure sich in die Membran einlagert, um so härter, brüchiger, widerstandsfähiger gegen Reagentien wird dieselbe, wie das jedes Brennhaar von *Urtica* allein schon illustrirt, aber der umgekehrte Schluss von der Härte etc. auf den Kieselgehalt ist falsch, da noch andere Stoffe Härte und Brüchigkeit etc. zu steigern vermögen. Besonderen Werth erhält die *Mohl*'sche Abhandlung durch den Nachweis, dass nicht nur abgestorbene, sondern auch lebende Zellen verkieseln, wie uns das jetzt ohne weiteres selbstverständlich erscheint, damals aber von *Crüger* und Anderen in Abrede gestellt wurde; *Mohl* führte eine Menge Beispiele dafür an, dass verkieselte Zellen noch alle möglichen physiologischen Funktionen verrichten, dass die Verkieselung häufig, besonders an Haargebilden, noch vor Beendigung des Wachsthums erfolgt, dass die noch wachsenden *Diatomeen*-Panzer schon ungewöhnlich grosse Mengen Kieselsäure enthalten etc. In dem Schlusstheil seiner Abhandlung, welcher der speciellen Betrachtung des Vorkommens von verkieselten Elementarorganen gewidmet ist, giebt *Mohl* eine Fülle von Einzelbetrachtungen besonders an verkieselten Epidermen und Epidermoidal-Gebilden: Haaren, Cystolithen, Spaltöffnungen etc.,

auf die ich hier nur hinweise, um so mehr, als ich im speciellen Theil wiederholt auf die *Mohl*'schen Mittheilungen werde zurückkommen müssen. Wichtig ist, dass *Mohl* am Ende seines Aufsatzes auch auf Ablagerungen von Kieselsäure im Innern von Zellen zu sprechen kommt, die er in den Blättern einiger Pflanzen aus den Familien der *Chrysobalaneen*, *Dilleniaceen* und *Magnoliaceen* antraf und mit den von *Crüger* früher in der Rinde und den Blättern des *Cauto*-Baumes entdeckten in Beziehung bringt, wichtig vor allem deshalb, weil *Mohl*'s scharfem Auge nicht entgangen war, dass bei der Ablagerung der Kieselsäure im Innern von Zellen zwei Fälle zu beobachten waren, indem entweder die Wände dieser Zellen ebenso verkieseln wie bei Zellen, in deren Höhlung keine Kieselsäure ausgeschieden ist und dabei die Verkieselung der Membranen der inneren Ablagerung vorausgeht, oder indem wie bei der *Cauto*-Rinde die Silicification der Zellwände zurücktritt oder ganz ausbleibt, während das Lumen der Zelle sammt den Tüpfelkanälen von der Kieselmasse ausgefüllt wird, welche letztere dann einen veritablen Abguss der Zellhöhle darstellt. Für jenen Fall lieferten Beispiele die Zellen der die Haare umgebenden Scheibe bei der *Dilleniacee Davilla brasiliana DC.*, der Blattepidermis vom *Cauto*-Baum und von *Chrysobalanus Icaco*, in welchen die Kieselsäure im Innern der Zelle als einzelnes Korn oder als die ganze Zelle erfüllende feinkörnige Masse erscheint, und ferner die von einer soliden Kieselmasse vollkommen ausgefüllten Blattepidermiszellen von *Licania crassifolia Benth.*, *Hirtella racemosa Lam.*, *Davilla Radula Mart.*, die in Gruppen nebeneinander liegen oder die Oberhautzellen über den Gefässbündeln der Blätter von anderen *Hirtella*- und *Licania*-Arten, vom *Cauto*-Baum, von *Duguetia bracteosa* u. s. w; für den zweiten Fall dagegen die Blätter von *Hirtella racemosa Lam.*, *Davilla brasiliana DC.*, *Mirbelia nilagirica Zenk.*, *Licania crassifolia Benth.* und *Magnolia glauca*, bei welchen Pflanzenzellen in der Nähe der Blattnerven solide Kieselzapfen enthalten, welche sich demgemäss beim Einäschern von einander trennen.

„Sollen wir nun die eine Kieselmasse enthaltenden Zellen mit *Crüger* unter allen Umständen für todt erklären", mit diesen Worten leitet *Mohl* die Schlussworte seiner werthvollen Abhandlung ein. Dass eine Zelle, deren Wandung verkieselt ist, ihre Funktion als lebende Zelle noch versehen kann, hat *Mohl* an zahlreichen Beispielen erläutert und stellte es a priori als wahr-

scheinlich hin, weil ebenso starke Incrustationen mit anderen mineralischen Substanzen in vielen Fällen bei sehr jugendlichen und noch nicht ausgewachsenen Zellen vorkommen und nicht einzusehen sei, warum gerade die Kieselsäure unter den Incrustationsmitteln eine Ausnahmestellung einnehmen solle. So fand er die jüngsten, noch in der Endknospe liegenden Blätter vieler Moose (*Andreaea crassinervia*, *Jungermannia albicans*, *J. compressa* etc.) schon so stark verkalkt, dass ihre Zellmembranen ein schönes zusammenhängendes Kalkskelett lieferten. Auf die zweite Frage, ob eine Ablagerung von Kieselsäure im Innern einer Zelle nothwendiger Weise den Tod derselben anzeige, vermag *Mohl* keine bestimmte Antwort auf Grund eigener Beobachtungen zu ertheilen; er spricht nur die Vermuthung aus, dass eine solche Zelle, besonders wenn sie nicht vollkommen mit Kieselmasse ausgefüllt ist, sondern nur eine kuglige Concretion enthält, zwar wenig lebenskräftig und in ihren normalen Funktionen gestört sein möge, aber als Theil eines lebenden Organes, eines noch grünen Blattes etc. ebensowenig als abgestorben zu betrachten sei, wie ein verknöcherter Theil des Thieres.

In einem Nachtrag vervollständigte *Mohl*[1] seine früheren Angaben über die Verbreitung der Verkieselungserscheinungen im Pflanzenreich wesentlich, indem er den 25 Familien[2], an welchen er jene beobachtet hatte, 17 weitere Familien[3] anreihte, obgleich er neue, von den bereits beschriebenen in wesentlichen Punkten abweichende Vorkommnisse dieser Substanz nicht zufügen konnte.

Wicke's[4] zweite Abhandlung hat vorwiegend die Verkieselung der Rinde verschiedener Bäume zum Gegenstand. Bei der Buche, bei *Acer Pseudoplatanus* und *Ac. rubrum* konnte *Wicke*

[1] *Mohl*, *H. v.* Nachtrag zu dem Aufsatze über das Kieselskelett lebender Pflanzenzellen. (Bot. Ztg. 1861. p. 305—308.)

[2] Dilleniaceae, Magnoliaceae, Amyrideae, Caesalpinieae, Chrysobalaneae, Philadelpheae, Rubiaceae, Synantherеae, Campanulaceae, Borragineae, Verbenaceae, Scepaceae, Urticaceae, Cannabineae, Moreae, Celtideae, Ulmaceae, Cupuliferae, Juglandeae, Palmae, Cyperaceae, Gramineae, Filices, Equisetaceae, Diatomaceae.

[3] Anonaceae, Flacourtiaceae, Büttneriaceae, Sterculiaceae, Tiliaceae, Malpighiaceae, Hippocrateaceae, Samydaceae, Homaliaceae, Cucurbitaceae, Loaseae, Celastrineae, Ehretiaceae, Cordiaceae, Euphorbiaceae, Artocarpeae, Antidesmeae.

[4] *Wicke*, *W.* Ueber das Vorkommen und die physiologische Verwendung der Kieselsäure bei den Dicotyledoneen. (Bot. Ztg. 1862. No. 10.)

sowohl am Stamm als an den jüngsten Zweigen eine äusserst feine Kieselhaut constatiren, wogegen *Carpinus Betulus*, *Quercus*, *Castanea*, *Corylus* etc. in ihrer Rinde nur isolirte verkieselte Zellen, nicht eine solche zusammenhängende verkieselte äusserste Rindenschicht aufweisen, die er nur noch bei den *Urticeen* (*Morus*, *Ulmus*, *Celtis*) und den *Artocarpeen* (*Ficus*, *Artocarpus*, *Brosimum*, *Trophis*, *Trymatococcus*, *Coussapoa*, *Soroceа*, *Pourouma*, *Galactodendron*) aufzufinden vermochte. Bezüglich der physiologischen Funktion der Kieselsäure bei den Pflanzen ist *Wicke* der Ansicht, dass dieselbe, nur in abgestorbenen Zellen zur Ablagerung gelangend und jeder Bildung organischer Verbindungen abhold, einen mehr mechanischen Nutzen im Pflänzenhaushalte habe. Bei den Gräsern soll sie den Halm für das Tragen der schwerer und schwerer werdenden Aehre festigen; für die Baumrinden, welche sie als feiner Panzer überzieht, spielt sie die Rolle, welche etwa dem Wasserglas zukommt, mit dem wir unsere Monumente etc. überziehen und verhindert, indem sie das Eindringen von Wasser unmöglich macht, das Springen der Rinden beim Gefrieren.

Auch *Sachs*[1] sprach sich in demselben Jahre über die Verkieselung von Pflanzenzellen aus, indem er besonders den *Wicke*'schen Ansichten gegenüber hervorhob, dass die Kieselsäure, erst an bereits ausgewachsenen Organen auftretend, schon deshalb mit der Ernährung im engeren Sinne nichts zu thun habe, dass sie wenig zur Festigkeit der Stengel beitrage, besser gesagt, zur Festigung der Stengel nicht nöthig sei, und der Process ihrer Einlagerung ein durch das Leben der Zelle nur wenig modificirter Versteinerungsprocess sei.

Die Angaben im ersten und dritten Band des Handbuchs der „Physiologischen Botanik" von *Hofmeister* resp. *de Bary* sind durchgehends, dem repertorischen Charakter des Handbuchs entsprechend, aus den bereits von mir aufgeführten Quellenschriften geschöpft.

In seiner Experimental-Physiologie fügt *Sachs*[2] dem bereits Ausgesprochenen wenig Neues hinzu, aber er betont nochmals, „dass die Kieselsäure beim chemischen Process der Assimilation nicht in der Weise betheiligt sei, wie die ächten Nährstoffe, viel-

---

[1] *Sachs*, *J.* Ergebnisse einiger neueren Untersuchungen über die in Pflanzen enthaltene Kieselsäure. (Flora 1862. No. 3, 4, 5 und 8.)

[2] *Sachs*, *J.* Handbuch der Experimental-Physiologie. 1865. p. 150—53.

mehr in der Art eines bildungsfähigen, plastischen Stoffes von der Pflanze benutzt werde, ohne dass letztere an die Mitwirkung dieser Säure gebunden sei. Nicht die chemischen Affinitäten der Kieselsäure, sondern ihre molecularen Eigenschaften, ihre Beziehungen zur Löslichkeit, zu den Aggregatzuständen im Allgemeinen, zur Diffusion etc. sind es, wodurch sie sich der Pflanze nützlich macht.

An anderer Stelle äussert *Sachs* (p. 150): „dass die Kieselsäure wesentlich den Zweck habe, die Festigkeit der Gewebe (bei den Gräsern zumal) zu erhöhen, ist eine aus der Luft gegriffene Ansicht, welche früher aufgestellt, an *Knop* ihren letzten Vertheidiger gefunden hat (Landw. Versuchsstationen, Heft 6, p. 269)". Weil das Lagern des Getreides nicht auf Kieselsäuremangel beruht[1], sondern auf anderen uns bekannt gewordenen Erscheinungen, und weil man scheinbar normale Maispflanzen (und andere Gräser) auch ohne Kieselsäurezufuhr mit einem Gehalt der Asche an Kieselsäure von nur 0,7 p. c. erziehen kann, welche sich zu tragen vermögen, soll die „Annahme wegfallen, als ob die Festigkeit der Organe von der Kieselsäure bewirkt würde". Das wäre das Kind mit dem Bade ausgeschüttet. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass der Haupteffect der Membran- ja zum Theil auch der Inhalts-Verkieselung ein mechanischer ist. Jede Membran wird durch Kieselsäure-Einlagerung bedeutend fester, wie sie es durch Verholzung etc. auch werden kann. Entkieselte Organe sind meist geradezu weich und würden in den weitaus meisten Fällen ihre bestimmten Funktionen ohne Verkieselung nicht erfüllen können (Klimmhaare, Feilhaare etc.). Ist die Verkieselung der Membran auf ein sehr hohes Maass gesteigert, so hat sie freilich wieder eine andere unangenehme Eigenschaft zur Folge, die der grossen Sprödigkeit, allein diese hochgradige Verkieselung der Membran, bei der fast alle Cellulose verdrängt ist, findet man relativ selten. Nach besonderen Gründen zu suchen, weshalb die Kieselsäure so häufig und intensiv der Membran eingelagert wird, ist eine überflüssige Arbeit, denn man erhält die Aufklärung über diesen Punkt durch die einfache Ueberlegung, welche von den in die

[1] Dass das Lagern des Getreides vom Kieselsäuregehalt unabhängig ist, haben bekanntlich

Sachs, *J. v.* Flora 1862. p. 52.

Koch, *L.* Landwirthschaftl. Centralbl. 1872. Bd. 2. p. 202.

Pierre, *J.* Compt. rend. 1866. Bd. 63. p. 374.

in verschiedener Weise auf das Bestimmteste dargethan.

Pflanze aufgenommenen Substanzen zur Einlagerung überhaupt tauglich sein können. Es muss ein in Wasser unlöslicher oder sehr schwer löslicher Stoff sein, der überall im Boden vorhanden ist und von den Pflanzenwurzeln aufgenommen wird. Diese Bedingungen werden nun vom Kalk und der Kieselsäure allein erfüllt, denn weder Strontium, Baryum, Magnesium, Aluminium, noch das Eisen und die übrigen Elemente genügen allen diesen Anforderungen, entweder sind sie relativ selten oder nur in geringeren Mengen im Boden, oder sie sind in den häufig auftretenden Verbindungen in Wasser löslich oder werden von den Wurzeln nur in minimalen Quantitäten aufgenommen. Das Studium von Pflanzenaschen-Analysen lehrt, dass alle genannten Elemente ausser Magnesium und Aluminium meist nur in verschwindend kleinen Mengen in die Pflanze gelangen. Auch der Gehalt an Thonerde ist in den meisten Pflanzenaschen ein relativ niedriger und da man auch in solchen Pflanzen, welche viel Thonerde führen, nirgends in den Membranen noch im Zellinhalt eine feste Thonerdeausscheidung nachzuweisen vermag, müssen wir annehmen, dass dieses Element meist in Form löslicher Verbindungen den Pflanzenleib durchtränkt. Aehnlich ist es mit dem Magnesium, nur dass dieses in grösseren Mengen an der Zusammensetzung der meisten Pflanzenaschen betheiligt ist, wie folgende Zahlen beweisen mögen:

Ganze Pflanzen von	Mg O in 100 Theilen Reinasche.
Triticum vulgare	— 5,90
Secale cereale	— 8,93
Hordeum vulgare	— 5,02
Polygonum Fagopyrum	— 17,13
Saccharum officinarum	— 15,53
Carex remota	— 9,62
Pisum sativum	— 16,15
Trifolium pratense	— 17,68 (26,07)
Trifolium medium	— 20,09
Solanum tuberosum (oberirdischer Theil)	— 28,47
Nicotiana tabacum	— 15,73
Stratiotes aloides	— 20,99
Stellaria media	— 21,80

etc. etc.

Allein ausser in den Globoiden der Proteïnkörner ist es mir nicht gelungen, eine feste Magnesium-Ausscheidung zu entdecken; auch der Magnesiumgehalt des Pflanzengerüstes ist ein kaum nach-

weisbarer; mit anderen Worten, auch das Magnesium ist in gelöster Form in der Pflanze enthalten und wird nicht in die Membranen eingelagert. So sind denn Calcium und Silicium die einzigen Elemente, welche alle oben ausgesprochenen Bedingungen gleichzeitig erfüllen, welche sich durch Ubiquität im Boden, durch leichte Bildung in Wasser unlöslicher oder schwer löslicher Verbindungen und besonders dadurch auszeichnen, dass sie von den Pflanzenwurzeln energisch aus dem Boden aufgesogen werden, ihre Verbindungen sind daher auch die einzigen Aschenbestandtheile, die uns bereits im lebenden Pflanzenkörper in beachtenswerthen Mengen in fester Form entgegentreten.

Von chemischen Arbeiten, welche sich mit den Kieselsäure-Verbindungen in der Pflanze beschäftigen, sind zu erwähnen die von *A. Ladenburg*[1] und *W. Lange*[2]. Jenes Untersuchungen machen es wahrscheinlich, dass die Kieselsäure-Verbindungen, welche sich in der Pflanzenasche finden, oder wenigstens ein Theil ihrer Kieselsäure, erst durch die Verbrennung silicium-organischer Verbindungen entsteht, wofür zu sprechen schien, dass man eine Erklärung für die Bedeutung der Kieselsäure in den Pflanzen nicht hatte und bereits festgestellt war, dass gewisse Pflanzen auch ohne Silicium einer gedeihlichen Entwickelung fähig sind. *Ladenburg* nimmt daher die Möglichkeit an, dass das Silicium in den Pflanzen als Vertreter des Kohlenstoffs auftritt und die Kieselsäure ein Zersetzungsprodukt von kohlenstoffhaltigen Siliciumverbindungen darstelle. Die vermutheten organischen Siliciumverbindungen experimentell in verkieselten Pflanzen nachzuweisen, gelang diesem Forscher nicht, und in welcher Weise man sich die zur Bildung solcher Verbindungen nöthige Reduction der Kieselsäure des Bodens vorstellen sollte, darüber war man ebenfalls vollständig im Unklaren.

Aus den Resultaten seiner Untersuchung des wässerigen Auszuges des *Equisetum hiemale* zog *Lange* den Schluss, dass die Kieselsäure in keiner anderen Form als in der einer sehr verdünnten Kieselsäurehydratlösung in der Pflanze enthalten sein könne, als welche sie auch von den Pflanzen aus dem Boden auf-

---

[1] *Ladenburg*, *A.* Ueber die Natur der in der Pflanze vorkommenden Siliciumverbindungen. (Ber. der Chem. deutschen Gesellsch. 1872. Bd. 5. p. 568.)

[2] *Lange*, *W.* Ueber die Natur der i. d. Pfl. vorkommenden Siliciumverbindungen. (Ber. d. Chem. deutschen Gesellsch. 1878. Bd. 11.)

genommen werde. Bezüglich der Frage, welches die Aschenbestandtheile seien, die man von der Cellulose alter pflanzlicher Gewebe nicht entfernen kann, hielt er es auf Grund seiner Versuche für wahrscheinlich, dass die Aschenbestandtheile in einer so gut wie unlöslichen Form in den Membranen sich vertheilt finden müssten und beim Lösen der Membranen in der schleimigen Flüssigkeit suspendirt blieben, um beim Ausfällen der Cellulose immer wieder mit in den Niederschlag zu gerathen. *Lange*'s Diffusionsversuche mit dem Equisetumsaft legten ferner dar, dass demselben ein viel bedeutenderes Diffusionsvermögen zukomme, als *Graham* gefunden, ohne dass sie hätten deutlich machen können, ob dieses Vermögen der Kieselsäure allein oder auch den anderen in saurer Lösung befindlichen Verbindungen zuzuschreiben sei. Ich kann mich den Ansichten *Lange*'s nicht in allen Stücken anschliessen. Es muss auffallen, dass Kieselsäure-reiche Pflanzen sehr häufig enorme Mengen Kali (mitunter ersetzt durch Natron) enthalten, so z. B. die Gräser, Farne und Equiseten, weshalb ich glaube, dass die Kieselsäure häufig als Kalium- oder Natronsalz aufgenommen wird. Je mehr vom Alkalisilicat in der Asche enthalten ist, um so tiefer pflegt deren Kalkgehalt zu sinken. Letzterer ist durchschnittlich bei den Gräsern überaus niedrig, etwas höher bei den Farnen und Equiseten, wie folgende Zahlen[1] illustriren mögen.

	Gehalt aus der Reinasche an		
Gräser:	SiO_2	KO	CaO
Alopecurus pratensis	39,0	43,3	3,9
Arundo phragmites	36,19	18,02	(20,51)
	38,20	30,0	6,2
	66,30	17,2	2,3
	77,70	13,3	2,7
Avena pubescens	36,28	33,77	4,72
Bromus mollis	36,67	33,09	7,30
Cynosurus cristatus	40,11	32,32	10,16
Dactylis glomerata	27,24	41,70	5,95
Festuca duriuscula	28,93	37,53	10,45
Holcus lanatus	28,84	38,00	8,48
Hordeum pratense	56,23	20,26	5,04
Lolium perenne	24,17	36,12	9,12

[1] *Wolff, E.* Aschen-Analysen. p. 41—46 u. p. 136—141.

Gräser:	Gehalt der Reinasche an SiO_2	KO	CaO
Poa annua	16,58	43,60	12,09
„ *pratensis*	33,08	38,45	5,65
Saccharum officinarum	45,78—54,22	11,59—27,32	2,26—17,13
Carex pseudo cyperus	39,56	23,00	3,60
Eriophorum vaginatum	31,81	14,73 KO	
		27,88 NaO	7,98
		30,12 KO	
		2,54 NaO	10,98
Farne:			
Osmunda Spicant	53,00	23,65	4,09
Pteris aquilina	43,65	19,35	12,55
Equiseten:			
E. arvenese	41,73	19,16	17,20
„ *Telmateja*	70,64	8,01	8,63

Der Antagonismus zwischen Kieselsäure-Kali und Kalk tritt mitunter in frappantester Weise hervor. So sind z. B., wie ich weiter unten darlegen werde, die *Podostemaceen* ausgesprochene Kieselpflanzen, die weitaus meisten sind durch intensive Membran- und Inhaltsverkieselungen ausgezeichnet. Kieselsäurefrei fand ich allein *Podostemon subulatus Gardn.*, *Dicraea rigida*, *Lophogyne arculifera Tul. et Wedd.* und gerade in diesen Vertretern der interessanten Familie fand ich Calciumoxalat in ansehnlichen Mengen, das sonst gänzlich fehlt und zwar in *Pod. subulatus* in tetragonalen Pyramiden und Prismen, in *Lophogyne arculifera* in monoclinen Krystallen und in *Dicraea rigida* in tetragonalen Pyramiden in besonderen schmalen Zellen der Blattepidermis, wie Fig. 52 Taf. V wiedergiebt. Auch der Calciumoxalat-Mangel der *Gräser* und *Equiseten* hat darin seinen Grund, dass in diesen Pflanzen der Kalk meist durch Kieselsäure-Kali subsituirt ist und es nur zur Bildung löslichen Kaliumoxalats kommt.

Der Letzte, der sich mit Verkieselungserscheinungen beschäftigte, war *Miliarakis*[1], indem er zu ermitteln sich bestrebte, ob die schon verkieselten Zellen noch wachsthumsfähig sind oder nicht, um gleichzeitig zu entscheiden über die Richigkeit der An-

[1] *Miliarakis, Spyr.* Die Verkieselung lebender Elementarorgane bei den Pflanzen. Würzburg. 1884.

sicht von *Wicke* und *Sachs*, dass nur die ausgewachsenen Zellen verkieseln, entgegen der von *Mohl*, nach welcher bereits incrustirte Zellen die Wachsthumsfähigkeit nicht eingebüsst haben sollten. Als Beobachtungsobjekte benutzte *Miliarakis* die Haare von *Deutzia scabra*, *Morus alba*, *Urtica*-Arten, *Ficus Carica*, *F. Sycomorus*, *Dorstenia*-Arten, *Boehmeria*-Arten, *Laportea gigas*, *Humulus Lupulus*, *Loasa vulcanica* etc. und konnte für alle constatiren, dass die Verkieselung derselben erst nach dem vollendeten Wachsthum ihrer Wandungen beginnt.

Beim Ueberblicken dieser historischen Angaben ergeben sich die Punkte von selbst, an denen weitere Untersuchungen anknüpfen müssen, und die Fragen, welche zunächst ventilirt und beantwortet sein wollen. Ich habe mir durch ausgedehnte Untersuchungen von Verkieselungserscheinungen einen möglichst weiten Gesichtskreis zu verschaffen gesucht, um alle von mir ausgesprochenen Behauptungen mit Thatsachen belegen zu können. Damit nun meine Erörterungen nicht in der Luft sondern mit früheren in direktem Connex stehen, knüpfe ich an jene Sätze an, welche *Crüger* in seinen „Westindischen Fragmenten" aufstellte und welche seitdem oftmals die Grundlage neuerer Arbeiten gebildet haben.

1. „Verkieselung von Zellen kommt in der lebenden Pflanze nur da vor, wo die Gewebe lange von Säften durchströmt werden. Dies wird dadurch begründet, dass man in schnell absterbenden Organen, wie bei Blättern, nur ausserhalb der Zellen Kieselsäure grösstentheils gestaltet vorfindet. Es geht auch aus der Thatsache hervor, dass Holzzellen, die ein kurzes Leben haben und in deren Bereich der Saftstrom sich schnell nach aussen verlegt, nicht verkieselt werden. Bei der Rinde, wo die Säfte fortwährend noch die älteren Zellen umspülen, werden diese nach und nach verkieselt." (p. 301).

Zweifellos liegt diesem Satz einiges Wahre zu Grunde. Freilich kommt es nicht eigentlich auf die Durchströmung von Säften an sondern auf den Durchgang von Bodenwasser mit darin gelösten Mineralstoffen und auf die Abgabe von Wasser nach aussen. *Crüger* erachtet mehr die Lebensdauer einer Zelle als massgebend, da er die Kieselsäurearmuth der Holzzellen auf deren kurzes Leben zurückführt, während er den Grund für die oft weitgehende Verkieselung der Rindenzellen darin sucht, „dass die Säfte noch fortwährend die alten Zellen umspülen". Mit unseren Vorstellungen über die Lebens- und Stoffwechselvorgänge in der Pflanze ver-

trägt sich diese Anschauung schlecht, denn es wird kaum Jemand annehmen, dass alte Rindenpartien noch anders an den Lebensprozessen der Pflanze theilnehmen, als dass sie noch nothdürftig mit Wasser versorgt werden, sind sie doch meist durch Peridermbildungen vom pulsirenden Leben des Stammes abgeschnitten. In den rasch absterbenden Blättern, schloss *Crüger* weiter ganz logisch, wird man nur wenig Kieselsäure erwarten dürfen und wo sie etwa sich findet, liegt sie ausserhalb der Zellen. Diese Behauptung wird nur insoweit von der Erfahrung bestätigt, als Blätter von kurzer Lebensdauer eine geringe absolute Menge von Kieselsäure enthalten, aber ebenso sicher lehren quantitative Bestimmungen, dass der relative Kieselgehalt der Blätter ein sehr hoher ist, wie dies folgende Zahlen beweisen:

	Kieselsäuregehalt in Procenten der Reinasche in		
	Holz	Rinde	Blätern
Aesculus Hippocastanum	2,60	1,13	4,90—13,91
Morus alba	3,43	—	21,0—37
Fagus sylvatica	5,09—9,8	—	—32,64 (abgef. Bl. 48,12
Quercus Robur	—5,44	0,36—1,7	—30,95
Pinus sylvestris	3,31—8,39	—	—69,99
Pinus Abies	6,5—36,18 (200jährig)	21,83—39,20	—71,39
Pinus Pumilio	5,27	17,36	—
Pinus Larix	3,60	—	—84,34
Carpinus Betulus	4,97	—	—
Ulmus campestris	3,07	8,77	—
Tilia europaea	3,21	—	—
Populus alba	2,68	—	—
Populus fastigiata	0,30	—	—
Populus nigra	3,69	—	—
Populus Tremula	1,61	—	—
Populus virginiana	1,86 Stengel	—	—
Linum usitatissimum	3,88	—	—7,30
Humulus Lupulus	6,07	—	—25,88
Citrus Aurantium	1,22	—	—4,83

Es kommt, so viel lassen die angeführten Zahlen erkennen, vielweniger auf die Zeit an, welche eine Zelle durchlebt, sondern auf die Menge Bodenwassers, die sie während ihres Lebens gas-

förmig an die Umgebung abgiebt, denn höchstens doch 9jährige Blätter von *Pinus*-Arten weisen einen Kieselsäuregehalt von 70—80 p. c. auf, während 200jähriges Holz derselben Bäume nicht viel über 30 p. c. dieser Substanz enthalten.

So verschieden die Mengen Kieselsäure auch sind, welche verschiedene Pflanzen in ihrem Körper niederschlagen, der Ort, an dem dieser Stoff hauptsächlich am Ende zur Ruhe kommt, ist im Allgemeinen durch den Gang des Transpirationsprocesses bezeichnet. Individuell ist eine bestimmte Aufnahmefähigkeit der Pflanze, die Vertheilung der festgewordenen Kieselsäure wird beherrscht durch die Transpiration beeinflussende äussere Factoren. Vermindert man die Transpirationsenergie einer Pflanze, so verkleinert man damit auch den Kieselsäuregehalt ihrer Asche. Die Kieselsäuremenge in untergetauchten Wasserpflanzen ist minimal, auch bei schwimmenden Pflanzen und solchen, welche in sehr feuchter Atmosphäre vegetiren, bleibt sie eine äusserst geringe, wogegen sie sehr beträchtlich wird in den stark transpirirenden Blattflächen unserer Laub- und Nadelbäume, und einen Maximalwerth erreicht in den Blättern vieler hoch in die Luft steigender Schling- und Rankenpflanzen, wofür ich als Beispiel nenne: *Humulus Lupulus*, *Thunbergia laurifolia*, *Combretum argenteum Aristolochia*-Arten etc.

Werden bei einer Pflanze die transpirirenden Blätter unterdrückt, trotzdem aber ansehnliche Kieselsäuremengen von den Wurzeln zugeführt, so muss diese Substanz in der Stengelepidermis sich wiederfinden, sofern diese die Transpiration vermittelt. Dieser Fall tritt uns in den *Equisetum*-Arten entgegen. In Früchten bei welchen durch Wachsausscheidungen, Cuticularisirung der Oberhaut etc. die Transpiration stark gehemmt ist, finden wir trotz der häufigen Gegenwart stark verdickter, sklerenchymatischer Zellen relativ wenig Kieselsäure:

Früchte von

Pyrus Malus 4,32; *P. communis* 1,49; *Prunus Cerasus* 5; *Prunus domestica* 2—3; *Prunus spinosa* 9,22; *Ficus Carica* 5,93; *Castanea vulgaris* 2,32; *Citrus medica* (Kern) 0,35; *Pyrus Cydonia* (Kern) 0,75 etc. p. c. Kieselsäure.

Auch wenn durch Ueberzüge irgendwelcher Art (Wachs etc.) die Transpiration gewisser Pflanzentheile oder ganzer Pflanzen stark herabgesetzt wird, ist meist Kieselsäure-Armuth trotz oft hohen

Alters der betreffenden Pflanze resp. des Pflanzentheils zu bemerken. Ich habe von diesem Gesichtspunkte aus eine grosse Anzahl *Cacteen (Mammillaria-*, *Melocactus-*, *Echinocactus-*, *Cereus-*, *Epiphyllum-*, *Rhipsalis-*, *Lepismium-*, *Opuntia* etc.-Species), *Crassulaceen (Bryophyllum-*, *Cotyledon-*, *Escheveria-*, *Sedum-*, *Sempervivum*-Arten) und ferner fleischige *Euphorbien (E. caput Medusae L.*, *E. canariensis*, *balsamifera* etc.) der Untersuchung auf Kieselsäure unterworfen und übereinstimmend bei allen diesen Gewächsen relativ sehr geringe Mengen dieser Substanz gefunden.

In dem zweiten seiner Sätze sagt *Crüger:* „Die lebende Zelle verkieselt sich nicht. Dies ist theilweise durch die berührten Thatsachen schon bewiesen. Nicht in jungen Geweben, nur in deren Nähe haben wir verkieselte Zellen vorgefunden. Selbst da, wo Zellen für längere Zeit als Speicher für Pflanzen und Zellennahrung dienen, wie bei den Markstrahlen, findet sich wohl ein Kieselkorn in der Zelle, die Wand derselben hat aber nichts damit zu thun."

Gegen die in diesen Sätzen ausgesprochenen Behauptungen hat seiner Zeit *Mohl* bereits wichtige Argumente vorgebracht, indem er darauf hinwies, dass ein in seiner Membran stark verkieseltes Brennhaar von *Urtica*, in welchem das Plasma sich noch in lebhafter Circulationsbewegung befindet, doch wohl nicht als abgestorben betrachtet werden dürfe; dass dies auch nicht erlaubt sei für die Zellen der Blätter einer *Deutzia*, eines *Helianthus* etc. vor der Blüthezeit, für die Cystolithenzellen und Epidermen der Blätter von *Ficus*-Arten, denn man könne mit Leichtigkeit Verkieselung in jenen sehen, ehe noch der Cystolith vollkommen ausgebildet sei. Auch die Epidermiszellen der *Equiseten*, deren Stengel bekanntlich häufig zweijährig sind, lassen sich unschwer als lebensfähig eruiren, obgleich sie schon während des ersten Jahres ihre Aussenmembranen stark mit Kieselsäure incrustiren. Als letztes Beweismittel führt *Mohl* eine Reihe von Beobachtungen an *Deutzien*blättern verschiedener Entwickelungshöhe an, die beweisen sollen, dass Zellen noch vor Vollendung ihres Wachsthums verkieseln können. Mit kritischem Auge betrachtet, sind jedoch diese Beobachtungen *Mohl's* nur zum Theil ein Argument für seine Meinung. Bei den *Deutzia*-Blättern verkieseln bekanntlich Sternhaare und Gefässbündel, beide erreichen aber erfahrungsgemäss ihre definitive Ausbildung sehr früh und wenn demgemäss *Mohl* schon in relativ kleinen Blättern Verkieselung constatirte, so ist dies noch kein

Beweis dafür, dass die verkieselten Zellen selbst noch wachsthumsfähig sind, denn die Flächenvergrösserung der betreffenden Blätter und ihre Dickenzunahme kann jedenfalls ohne Wachsthum der einmal vorhandenen verkieselten Trichome und Gefässbündel vor sich gehen. Nur die eine Beobachtung kann als gravirend betrachtet werden, dass beim kleinsten Blatt „die zwar noch dünnwandigen Sternhaare schon verkieselt" waren; obgleich verkieselt, verdickten dieselben ihre Membranen demnach später noch, d. h. sie setzten, wenn nicht ihr Längenwachsthum, so doch sicher das Dickenwachsthum ihrer Membranen nach der Verkieselung noch fort.

Mit der speciellen Frage, ob die verkieselten Zellen noch wachsthumsfähig sind, mit deren affirmativer Beantwortung ja gleichzeitig die Behauptung *Crüger*'s fallen musste, hat sich neuerdings, wie bereits erwähnt, *Miliarakis* beschäftigt, weil ja deren experimentelle Entscheidung gleichzeitig über die Richtigkeit der Ansicht von *Wicke* und *Sachs*, dass nur ausgewachsene Zellen verkieseln, gegenüber der entgegengesetzten von *Mohl*, ein Urtheil fällen musste. Mit welchen Pflanzen *Miliarakis* seine Versuche anstellte und zu welchem Resultate diese führten, habe ich p. 219 angegeben, es sei hier wiederholt, dass er festgestellt zu haben glaubte: „die Verkieselung der Haare beginnt erst nach dem vollendeten Wachsthum ihrer Wandungen" oder, allgemeiner ausgedrückt, „verkieselte Organe sind nicht mehr im Stande zu wachsen." (l. c. p. 25.)

Diese Ergebnisse mussten um so mehr den Anschein der Richtigkeit haben, als auch das letzte früher angeführte Argument *Mohl*'s, die Wachsthumsfähigkeit der verkieselten *Diatomeen*-Schalen, im Lauf der Zeit als nicht stichhaltig erkannt worden ist. Was *Mohl* seiner Zeit als Wachsthum des Kieselpanzers ansah, entpuppte sich später als eine Verbreiterung der Zelle nicht durch Membranwachsthum, sondern durch Vergrösserung des Abstandes der beiden Schalen in Folge Auseinanderrückens der Gürtelbänder, so dass sich die letzteren während der Theilung nur noch mit einem schmalen Streifen berühren.

Giebt es nun andere Beweise für das Wachsthum der *Diatomeen*-Schalen? Soweit unsere Untersuchungen reichen, nein. Im Gegentheil spricht die Mehrzahl der Erscheinungen gegen die Existenz der Wachsthumsfähigkeit der einmal verkieselten Schale, so das Fehlen langer Schalen mit weniger Riefen pro Längeneinheit,

welche Riefen doch durch die Flächenvergrösserung auseinandergerückt sein müssten, da eine nachträgliche Einschaltung nicht wohl denkbar, vor allem aber niemals beobachtet worden ist; ferner die wellige Begrenzung von *Diatomeen*-Bändern, die in Wirklichkeit vollständig derjenigen entspricht, welche man unter Annahme der Nichtverlängerung kürzerer Tochterindividuen theoretisch gefolgert hatte; sodann der Umstand, dass immer nur kleine, dem Längenminimum der Art nahe stehende Zellen den Vorgang der Auxosporenbildung zeigen, während er bei grösseren Individuen nie beobachtet wurde etc.

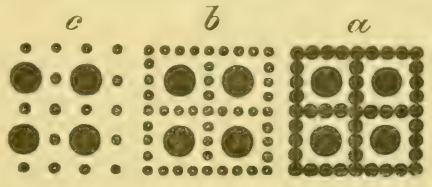
Es würde somit aus der Unfähigkeit der verkieselten *Diatomeen*-Membranen zu wachsen und den Resultaten der Untersuchungen von *Miliarakis*, wenn man der Sache auf den Grund geht, eine fundamentale Verschiedenheit zwischen Kalk- und Kieselsäure-Incrustation folgen, denn die mit Kalk incrustirte Membran ist des weiteren Wachsthums erfahrungsgemäss fähig, die mit Kieselsäure incrustirte soll es nach dem Gesagten nicht sein, was darin begründet sein könnte, dass jener, der Kalk, mit der Cellulose innig verbunden, metaphorisch ausgedrückt, organisirt, diese, die Kieselsäure, nur zwischengelagert ist. Ehe man jedoch eine solche bei oberflächlicher Betrachtung sogar durch mancherlei Erscheinungen scheinbar gestützte, tiefgreifende Differenz im Verhalten beider Incrustationsstoffe anzunehmen sich anschicken wird, wird man nicht unterlassen, zu prüfen, ob die Beweise, welche *Miliarakis* für seine Behauptung beigebracht hat, eine strenge Kritik vertragen. Ich werde in Folgendem darlegen, dass sie dies nicht können, schon deshalb nicht, weil die Methode des Nachweises der Kieselsäure, welcher *Miliarakis* sich bediente, als für seinen Zweck unbrauchbar bezeichnet werden muss. *Miliarakis* benutzte zur Herstellung seiner Kieselskelette die von *Pollender*[1] zuerst zu diesem Zweck empfohlene Chromsäure, jedoch nicht allein, sondern, wie er für besser erkannte, im Verein mit concentrirter Schwefelsäure. Ich lasse die von genanntem Forscher selbst gegebene Schilderung des von ihm angewandten Verfahrens hier folgen:

„Das zur Untersuchung zu verwendende Blatt oder Rindenstück wird zuerst mit concentirter Schwefelsäure in einem Becher-

[1] *Pollender.* Chromsäure ein Lösungsmittel für Pollenin und Cutin, nebst einer neuen Untersuchung über das chemische Verhalten dieser beiden Stoffe. (Bot. Ztg. 1862. Nr. 46. 47.)

glas behandelt, bis es ganz schwarz wird, oder wenigstens, wenn es sich um ein sehr zartes Blatt handelt, bis es seine Farbe verliert und halbdurchsichtig wird. Dann giesst man eine 20procentige wässrige Lösung von Chromsäure hinein. Sofort entsteht ein heftiges Aufbrausen der Flüssigkeit und zugleich damit löst sich das Blatt allmälig auf. Die Quantität der Chromsäurelösung richtet man nach der Grösse des Blattstückes und der Quantität der Schwefelsäure ein. Sobald nun das Aufbrausen aufhört, füllt man das ganze Becherglas mit destillirtem Wasser und lässt es eine Stunde stehen, bis alle Kieselskelette am Boden des Gefässes sich niedergeschlagen haben. Dann giesst man das übrige Wasser vorsichtig ab und untersucht den pulverigen Bodensatz mikroskopisch. Wenn der Niederschlag noch von Chromsäure dunkel gefärbt erscheint, verdünnt man ihn noch einmal mit destillirtem Wasser und lässt denselben noch eine Zeit lang stehen. Durch diese Methode kann man sicher sein, dass die Skelette rein von anderen Beimengungen sind, und dass die Wärme, welche sich bei der Mischung von beiden Säuren und bei der Verbrennung der organischen Substanz entwickelt, keinen Einfluss auf die Form der verkieselten Zellmembranen ausübt; denn sehr selten steigt sie über 100° C. Da aber die Oxydation sehr energisch die organischen Gebilde angreift, so wird der Zusammenhang der Zellen gelöst und wir bekommen meistentheils kleine Stücke von Kieselskeletten und isolirte Zellen. Nur in Fällen, wo die Verkieselung eine starke ist, kann man auch grosse zusammenhängende Platten bekommen, (*Equisetum*, *Dorstenia* etc.). Endlich erwähne ich, dass man die Methode auf dem Objectglas ausführen kann, wenn man einen Tropfen Schwefelsäure und dann Chromsäure auf den Objectträger bringt und das Object vorsichtig abspült."

Es ist mir von vornherein unwahrscheinlich erschienen, dass man mit Hilfe dieses Verfahrens Kieselsäuremengen unterhalb einer gewissen Grenze würde nachweisen können. Da ich mir auf Grund meiner Erfahrungen die Kieselsäure zwischen die kleinsten Cellulosetheilchen eingelagert denke, kann meiner Meinung nach nur dann die Methode von *Miliarakis* ein Kieselskelett ergeben, wenn die Kieselsäureeinlagerung so intensiv ist, dass die kleinsten Theilchen derselben — sit venia



verbo — ein Netz (a) formiren, nicht aber, wenn sie in grösseren Distanzen von einander sich befinden (b und c).

Jenes ist aber erst bei intensiver Verkieselung der Fall, dieses bei schwacher. Ist diese meine Annahme richtig, so muss es gelingen, in Membranen, die nach *Miliarakis'* Methode keine Spur von Kieselsäureskelett hinterlassen, auf andere Weise Kieselsäure nachzuweisen.

In der That war der Erfolg aller meiner dahingehenden Versuche ein positiver. Ich unterwarf zunächst ganz jugendliche Blattorgane, mit oder ohne Haarkleid, aus der Herbstknospe von höchstens 3—4 mm Länge der Behandlung mit Chrom- und Schwefelsäure. Es zeigte sich, dass auch nicht ein Atom eines Skelettes zurückblieb, sondern das Gewebe zerfloss im wahren Sinne des Wortes unter meinen Augen, war also nach *Miliarakis* nicht verkieselt. Liess ich nun aber auf die im Platinalöffel hergestellte Asche Fluorwasserstoffsäure einwirken (natürlich auf gefirnisstem Objectträger), so war es ein Leichtes, die Gegenwart der Kieselsäure an dem Auftreten der charakteristischen Krystallformen des Kieselfluornatriums (und -Kaliums) zu erkennen. Ich constatirte auf diese Weise Kieselsäure in den jüngsten Blattorganen aus der Herbstknospe von *Magnolia*-Species, von *Fagus sylvatica*, *Ribes*-Arten etc.

Ebenso habe ich an Pflanzentheilen, welche beim Glühen ganz zarte Kieselskelette hinterliessen, bei Behandlung mit Chrom-Schwefelsäure keine solchen erhalten; ich brauche nicht zu erwähnen, dass ich immer mit Flusssäure die Bildung oben erwähnter Krystallformen herbeiführte und nicht jeden Glührückstand als Kieselskelett ansah.

Prüfte ich nun ganz junge, sicher unausgewachsene Haare auf mikrochemischem Wege mit allen Cautelen auf Kieselsäure, so fand ich solche in den weitaus meisten Fällen. Ja, Messungen haben mir dann sogar direct gezeigt, dass bereits verkieselte Zellen noch zu wachsen im Stande sind; so z. B. an ganz jugendlichen Blättern von *Thunbergia laurifolia* Epidermiszellen, die schon lange vor Beendigung des Wachsthums mit Kieselsäure incrustirt waren.

Aus den angeführten Thatsachen ergiebt sich, dass nicht allein noch lebende Zellen, sondern auch noch wachsende Kieselsäure in ihren Membranen einzulagern vermögen, dass also weder die Ansicht *Crüger's*, noch die von *Wicke*, *Sachs* und *Milia-*

rakis haltbar ist, sondern dass *Mohl*, freilich ohne einen schlagenden Beweis erbringen zu können, das Richtige getroffen hatte.

Mit diesem Nachweis fällt aber die Scheidewand, welche bisher die Kiesel- und Kalkincrustationen trennte. Beide sind nur durch den Incrustationsstoff unterschieden, sonst vollkommen analoge Erscheinungen, Zwischenlagerungen von unorganischem Stoff zwischen die kleinsten Theilchen der Cellulosemembran, welche, so lange eine gewisse Intensität der Incrustation nicht überschritten wird, Lebens- und Wachsthumsfähigkeit behält. Nur wenn die Kalk- resp. Kieseltheilchen sehr dicht neben einander zu liegen kommen, wird das Wachsthum sistirt und die Lebensenergie vermindert. Dass letztere aber durch die Incrustation selbst bis zum Absterben herabgedrückt wird, kann ich nach meinen Beobachtungen nicht annehmen, sondern glaube, dass der Tod der Zelle in den meisten Fällen auf andere Ursachen wird zurückzuführen sein. Ebensowenig als die oft ausserordentlich starke Incrustation der Zellmembranen von Kalkalgen mit Kalkcarbonat den Tod der betreffenden Zellen herbeiführt, ebenso wenig wird dies die Einlagerung von Kieselsäure vermögen. Die Hauptfunktion der Membran, diosmotische Vorgänge zu vermitteln, kommt ja selbst Membranen aus reiner Kieselsäure zu, wie *Famintzin*[1] nachgewiesen hat, aus welchen Gründen soll man annehmen, dass eine mit Kieselsäure incrustirte Membran die Diosmose der Stoffe in schädlicher, den Tod der Zelle verursachenden Weise beeinträchtige? Bieten doch die Pflanzen selbst genug Beispiele dafür, dass durch stark verkieselte Membranen, ja durch Schichten dichter, glasartig homogener Kieselsäure noch ein Stoffaustausch, wenn auch gewiss sehr verlangsamt, vor sich geht. Im Capitel über innere Verkieselungen werde ich Zellen beschreiben, deren Inneres sich von Aussen nach Innen allmälig mit Kieselsäure füllt. Eine immer an Dicke zunehmende Kieselschale kleidet zunächst das Zelllumen aus und geht häufig mit der Zeit in einen massiven Kieselkern über. Alle durch die anfangs dünne Schale sozusagen abgesperrten Stoffe, welche später durch Kieselsäure verdrängt werden, müssen durch die Kieselwand hindurch nach Aussen wandern und umgekehrt muss die zur Verdickung des Kieselmantels und zur endlichen Ausfüllung der centralen Höhlung nöthige Kieselsäure ebenfalls die auch bei stärkster

[1] *Famintzin*, *A.* Studien über Krystalle, Krystallite und künstliche Membranen. (Ber. d. d. bot. Gesellsch. Bd. II. 1884. p. 32.)

Vergrösserung lückenlos erscheinende Kieselschicht durchsetzen. Ebensowenig können verkieselte Zellhäute den Stoffaustausch vollständig hemmen, denn es giebt Zellen, deren Membranen früher als ihr Inhalt verkieseln; allein eine Menge Erscheinungen zeigen, dass die Durchlässigkeit verkieselter Membranen sehr gering werden kann und vielleicht immer geringer ist, als die reiner Kieselsäurehäute, so die langsame Transpiration durch verkieselte Membranen, das schwierige Eindringen von Farbstofflösungen in Zellen mit solchen Membranen und das äusserst langsame Eintreten der Plasmolyse in derartigen Zellen. Zellen mit ringsum verkieselter Membran sind ziemlich selten, in der Mehrzahl der Fälle ist die Verkieselung wie bei den meisten Haaren, bei den Cystolithenzellen etc. auf einen Theil der Membran beschränkt, so dass sich der Stoffaustausch bequem durch die unverkieselten Partien der letzteren abspielen kann.

Es empfiehlt sich, die zahlreichen nunmehr zu behandelnden Verkieselungs-Erscheinungen im Pflanzenreich in drei Kategorien zu ordnen

1. Kieselsäure-Abscheidung auf der Pflanze resp. ausserhalb der Pflanzenzelle (Cap. IV).
2. Verkieselung der Membran (Cap. V).
3. Kieselbildungen im Zellinnern (Cap. VI).

Nicht selten sind alle oder zwei Arten der Kieselsäure-Abscheidung gleichzeitig an einer Pflanze oder Pflanzenzelle vorhanden: solche Fälle sind meist in derjenigen Kategorie aufgeführt, der sie ihrer intensivsten Kieselsäure-Production nach angehören.

CAPITEL IV.

KIESELSÄURE-ABSCHEIDUNG AUF DER PFLANZE RESP. AUSSERHALB DER PFLANZENZELLE.

Ablagerungen von Kieselsäure auf Pflanzenzellen und ganzen Vegetationsorganen sind überaus häufig, doch sind sie meist so unbedeutend, dass sie ohne jede physiologische Wirkung bleiben und deshalb besonderes Interesse nicht beanspruchen können. Anders, wenn diese Substanz in grösseren Quantitäten auf der Oberfläche abgesondert wird. Es geschieht dies, wie die Erfahrung

lehrt, relativ selten, ohne dass der Kieselsäure nicht irgend welche andere anorganische oder auch organische Stoffe beigemengt wären. So besteht die Auflagerung bei vielen *Palmen* wie *Chamaedorea*-Arten etc., bei *Kerria* etc. aus einem Gemenge von Kieselsäure und Wachs, bei Ausscheidungen der *Plumbagineen, Saxifragaceen* und mancher Farne aus complicierten Mischungen von Kalk-Magnesia- und Natronsalzen mit Kieselsäure. In diesen Fällen trägt die Kieselsäure jedenfalls bei, die Transpiration der von den Stoffgemengen überzogenen Theile herabzusetzen. Bei der Permeabilät der Zellhaut für Salzlösungen und dem constanten Gehalt des Pflanzensaftes an Kieselsäure bieten diese Erscheinungen unserem Verständniss nicht die geringsten Schwierigkeiten. Ganz derselbe Vorgang, der in den genannten Beispielen zu einer minimalen Auflagerung auf der Aussenfläche führt, ruft bei den *Bambus*-Arten, nach innen gerichtet, die Bildung der riesigen Kieselsäure-Concremente hervor, welche sich in den Internodien dieser Pflanzen finden und unter dem Namen *Tabaschir* im ganzen Orient seit alter Zeit und noch jetzt als wunderthätiges Heilmittel hoch geschätzt sind. *Cohn*[1] hat neuerdings das Tabaschir eingehend untersucht und ich entnehme seinen Mittheilungen, was hier anzuführen nöthig ist. (Herrn Dr. *Th. Schuchardt* in Görlitz verdanke ich eine Anzahl prachtvoller Rohstücke und eine Menge durch einfaches Brennen calcinirter Stücke des Tabaschirs, an denen ich meine eigenen Beobachtungen gemacht habe, die freilich denen *Cohn*'s wenig Wichtiges beizufügen vermögen.) Das Tabaschir bildet walzig-eckige Stücke von Sandkorn- bis Wallnussgrösse. Das grösste von *Cohn* mituntersuchte Stück hatte 4 cm Höhe und 2,7 cm Durchmesser und ein Gewicht von 15,74 gr. Härte, Durchsichtigkeit, Glanz und Farbe sind ausserordentlich wechselnd. Es kann erdig, kreideartig, wie Speckstein ritzbar, fettigschimmernd sein, ist meist sehr spröde und zerbrechlich, lässt sich mit dem Messer schneiden, wobei die Schnitte sofort in dünne, glasähnliche scharfe Splitter zerfallen. Durch Glühen calcinirtes Tabaschir ist härter und opalartiger oder milchglasähnlicher bläulichweisser Farbe, während das rohe bräunlich, röthlichgelblich, schmutziggrau bis schwarz erscheint, mitunter sogar onyxartig weiss und schwarz geschichtet, und kantendurchscheinend ist. Mit der ungewöhnlich

[1] *Cohn*, *F.* Bericht über die Thätigkeit der botanischen Section der schlesischen Gesellschaft im Jahre 1886. p. 177 ff. — Ders. Beiträge zur Biologie der Pflanze. 1887.

grossen Menge Wasser, welche junge Bambuswurzeln einsaugen, werden auch bedeutende Mengen von Kieselsäure aufgenommen, von welchen ein Theil in den Membranen deponirt wird, denn ein Bambusrohr, das über 28 p. C. Kieselsäure in der Asche enthält, führt soviel Kieselsäure in den Zellwänden, dass das Skelett eines Stückes desselben beinahe die ursprüngliche Form und die Structur beibehält; ein anderer Theil wird mit Wassser gelöst durch den Wurzeldruck in die Internodialhöhlen gepresst, die oft an jungen Stengeln von Wasser ganz erfüllt sind. Später resorbirt bei gesteigerter Transpiration die Pflanze dieses Wasser mit den darin gelösten Salzen wieder, während die colloidale Kieselsäure, durch Dialyse gereinigt, unter dem Einfluss wahrscheinlich von Kohlensäure, gelatinirt. Denn da man aus gewissen Gründen annehmen kann, dass die Kieselsäure als Natrium- oder Kaliumsilikat in Wasser löslich in der Pflanze circulirt, genügt die Bindung der Alkalimetalle durch die atmosphärische Kohlensäure, um die gallertige Ausscheidung der Kieselsäure zu bewirken.

Es hat die Grundmasse des Tabaschirs demnach beim Entstehen eine weiche gallertige Consistenz, weshalb es möglich ist, dass man auch später nach der Erhärtung noch parenchymatische Gewebefragmente, lebensfähige Pilzhyphen *(Penicillium)* und *Micrococcen* darin entdecken konnte *(Cohn)*. Dass diese Entstehungsweise zu Recht besteht, kann man an den *Bambusen* unserer Warmhäuser, die freilich in Folge der anomalen Vegetationsverhältnisse, unter denen sie stehen, eine stark herabgeminderte Lebensthätigkeit entfalten, leicht beobachten; so fand ich an einer *Bambusa vulgaris* des Marburger Gartens Tabaschir in Form einer ringartigen Zone durch Eintrocknen muschlig gekrümmter Stücke von wunderbarem Farbenschimmer, der an kleinen Fragmenten dem edlen Opal's und Hydrophan's, wie man ihn in Sachsen etc. findet, nicht sehr nachsteht. Oft waren mehrere solcher Ringzonen auf der Innenseite der etwa 3 cm im Durchmesser habenden Internodien über einander, ein Beweis dafür, dass die siliciumhaltige Lösung nicht gleichmässig, sondern periodisch resorbirt wurde. Junge Internodien desselben Pflanzen-Exemplars waren frei von dieser Erscheinung. Wie die von *Cohn* untersuchten Stücke orientalischen Tabaschirs lösten sich auch die von mir gefundenen in heisser Kalilauge, erschienen unter dem Mikroskop homogen und amorph, erwiesen sich trotz des dichten Ansehens und des Glasglanzes als poröse Körper, die, geglüht, auf Wasser, Oel und

den leichtesten Aethern schwimmen (spec. Gew. 0,56). Calcinirtes Tabaschir imbibirt wie *Cohn* bereits mittheilte, alle Flüssigkeiten so energisch, dass die Luft (etwa ein gleiches Volumen) lebhaft in Perlenketten und mit sehr deutlich hörbarem Geräusch ausgetrieben wird. Tabaschir theilt also mit organisirter Membran die Eigenthümlichkeit, dass seine Poren wie die der letzteren selbst bei der stärksten Vergrösserung unsichtbar bleiben, unterscheidet sich aber von derselben durch die Unfähigkeit zu quellen. Im polarisirten Licht zeigt das Tabaschir keine Doppelbrechung.

Aus dem geringen Durchmesser der Tabaschir-Cylinder schliesst *Cohn*, dass nicht die schenkeldicken Stämme der *Bambusa arundinacea*, sondern entweder schlankere Arten oder jüngere Schösslinge oder die schwächeren Aeste und Zweige der baumartigen Bambusen es sind, aus denen das Tabaschir gesammelt wird. Dass auch *Bambusa vulgaris* Wandl. Tabaschir erzeugt, geht aus meiner oben gethanen Aeusserung hervor.

Das Tabaschir ist für die Pflanze selbst ohne jede Bedeutung; es ist der Rückstand, der auf dem Boden von Wasserspeichern, als welche die Internodialhöhlen vorübergehend functioniren, verbleibt und der sich vielleicht bei unseren *Rheum-*, *Polygonum-*, *Arundo-*, *Phragmites*-Arten ebenso einstellen würde, wäre die Vegetationsenergie dieser Pflanzen dieselbe wie die der Bambusen und der Siliciumgehalt unserer Bodenwässer so bedeutend, wie er in der Heimath der Bambusrohre angenommen werden muss. Es scheint aber nur tropischer Sonne zu gelingen, so immense Wassermengen in kurzer Zeit durch die Pflanzen wandern zu lassen, dass derartige beträchtliche Verdampfungsrückstände zu resultiren vermögen.

An das Tabaschir der Bambusen schliessen sich direkt die intercellularen Kieselsäure-Ausfüllungen der *Cauto*-Rinde an, insofern sie auch nichts Anderes sind als allmälig entstehende Anhäufungen amorpher, meist glasartig hell und durchsichtig erscheinender Kieselsäure ausserhalb der Zellen. An den eigenthümlich concav gekrümmten Aussenflächen und der ganzen Form (vgl. Fig. 45, Taf. III) kann man diese Concretionen leicht von verkieselten Zellinhalten, an welchen diese Rinde, wie ich später zeigen werde, besonders reich ist, unterscheiden.

KAPITEL V.

VERKIESELUNG DER MEMBRAN.

Wenn es vielleicht auch nur relativ wenig Pflanzenmembranen giebt, welche gar keine Kieselsäure enthalten, so ist doch der Kieselgehalt in den Zellhäuten mitunter so gering, dass wir letztere für gewöhnlich als „nicht verkieselt" betrachten; oft aber steigt der Gehalt an dieser Substanz so, dass er sich schon äusserlich durch Härte, Festigkeit, Sprödigkeit, hohen Aschengehalt und eine gewisse Neutralität färbenden Reagentien gegenüber verräth. Am meisten unterliegt das Hautgewebe mit allen seinen Einzelbildungen der Verkieselung, verhältnissmässig seltener ist letztere innerhalb des Grund- und Stranggewebes.

Dieselben Verschiedenheiten, welche die Epidermis verschiedener Pflanzen hinsichtlich der Dicke und Festigkeit ihrer Zellwände und Cuticularschichten zeigen, machen sich auch in Bezug auf ihre Aufnahme von Kieselsäure geltend. Oft repräsentirt die verkieselte Membran ein so dünnes Häutchen, dass es Schwierigkeit bietet, dasselbe überhaupt nachzuweisen, so beispielsweise bei den Blättern von *Castanea vesca, Juglans regia, Quercus Suber* etc. Bei anderen Pflanzen bleibt die Verkieselung zwar auch auf die äussersten Schichten der Hautzellmembranen beschränkt, aber es lässt sich doch der verkieselte Theil mit *Schulze's* Reagens leicht isoliren und als zusammenhängende Haut ablösen, so bei den Blättern der meisten *Gramineen* und *Cyperaceen*, bei den Wedeln von *Pteris aquilina*, bei den Blättern mancher krautartigen *Rubiaceen (Galium Aparine, Rubia tinctorum)*, ferner von *Quercus, Fagus, Morus alba* und vielen Pflanzen aus der Familie der *Magnoliaceen, Annonaceen, Dilleniaceen, Chrysobalaneen* etc. Eine auffallende Mächtigkeit der silicificirten Schicht tritt uns bei *Equisetum*, bei *Calamus*, ferner an den Blättern von *Ulmus campestris, Celtis occidentalis, aristata E. M., appendiculata, Chichilea, Tournefortii, micrantha, Ficus Sycomorus* und *trachyphylla Fenzl;* ferner von *Scepa Lindleyana, Rubia lucida, Petraea guianensis* und *volubilis, Deutzia scabra, Magnolia grandiflora, Davilla brasiliana (Dilleniaceæ), Parinarium senegalense (Chrysobalaneæ), Thunbergia laurifolia, Combretum argenteum* etc.

Oft erstreckt sich die zwischen Ober- und Unterseite des Blattes herrschende Verschiedenheit auch auf die Verkieselung,

insofern wir neben Blättern mit überall gleichmässig verkieselten Epidermiszellen auch solche finden, bei denen die Epidermis der Blattoberseite intensive Verkieselung aufweist, während die der Unterseite nur schwach *(Humulus Lupulus, Morus alba* etc.) oder gar nicht verkieselt ist *(Helianthus trachelifolius, Heliopsis laevis, Obeliscaria columnaris* etc.), so dass sich bei den letztgenannten Pflanzen von der Blattunterseite gar kein Skelett erhalten lässt.

Immer sind ausser der Aussenwand der Epidermiszellen auch deren Seitenwände in verschiedener Ausdehnung verkieselt, weshalb das Kieselskelett der Epidermis von der Fläche gesehen immer ein aus den Seitenwänden der Oberhautzellen gebildetes Zellennetz erkennen lässt (sehr schön zu sehen bei *Thunbergia* und *Combretum*-Arten.

Alle Epidermoidal-Gebilde nehmen mehr oder weniger an der Silicification theil. Die Schliesszellen der Stomata sind meist nur an der Aussenseite verkieselt, nicht selten auch die der Athemhöhle anliegenden Membranpartieen *(Deutzia scabra)*.

Glatte Oberhäute sind meist gleichförmig verkieselt; sind dagegen Knötchen, Leisten etc. vorhanden, so bleibt häufig die Incrustation auf diese Emergenzen beschränkt, so bei den Knötchen der Epidermiszellen von *Scirpus palustris, S. mucronatus* etc. Bei *Equisetum*-Arten sind Prominenzen und glatte Flächen gleichmässig verkieselt.

Ueberaus interessante Verkieselungserscheinungen bieten die Trichome dar. Es giebt Pflanzen, bei denen sich die Verkieselung der Oberhaut auf die Trichome überhaupt beschränkt, z. B. bei den Blättern *Ficus Joannis Boiss., Urtica excelsa, lusitanica, hispida, dioïca* pr. p., *Campanula Cervicaria, Leontodon crispus* etc., (siehe unten), bei den Früchten von *Galium Aparine*. In anderen Fällen bilden die Haare nur Centra, von denen die Verkieselung der Epidermis ausgeht, in denen sie beginnt und gewöhnlich auch am intensivsten stattfindet, so bei *Deutzia scabra, Rubia tinctorum, Galium Aparine, Parietaria erecta, Elymus arenarius* etc., bei welchen Pflanzen die Epidermis nur in dünner Lamelle, die Haare aber sehr stark verkieselt sind. Es kommt jedoch nicht selten vor, dass die Verkieselung der Epidermis von der Basis jedes einzelnen Haares sich in mehr oder weniger concentrischen Kreisen ausbreitet. Jedes Haar ist dann von einer verkieselten aus Oberhautzellen gebildeten Scheibe umgeben, wobei merkwürdiger Weise die einzelnen die Scheibe formirenden Zellen nicht gleichzeitig über die ganze

Aussenfläche verkieseln, sondern allmälig von dem der Haarbasis zugekehrten Ende aus nach dem Entgegengesetzten, so dass der Rand der Scheibe mitten durch die einzelnen Zellen hindurchläuft. Oft bleiben die zwischen den einzelnen Scheiben liegenden Epidermispartieen zeitlebens unverkieselt, oft nur in der Jugend. Jenes ist der Fall bei *Cerinthe aspera, minor, Onosma stellulatum, arenarium, Echium vulgare, fruticosum, Lithospermum officinale, Helianthus tuberosus, trachelifolius, Obeliscaria columnaris, Heliopsis laevis, Fissenia capensis R. Br.* und vielen *Cucurbitaceen* und anderen *Borragineen* (siehe unten) etc., letzteres bei *Humulus Lupulus, Ulmus campestris, Tectona grandis, Pulmonaria saccharata, Cerinthe major, Echium maritimum, Elvira biflora, Montagnaea arborescens, Silphium connatum, Rudbeckia triloba, Helianthus grosse-serratus, divaricatus, Zinnia elegans, Xanthium macrocarpum* und *Cyclachaena*, ferner *Inula Helenium, Solidago rigida Fr., procera Ait., scabra Mühl., Conyza squarrosa, thapsoides, Biotia macrophylla, Aster Amellus, Centaurea Jacea, Picris hieracioides* etc. Mitunter sind die, das Haar umgebenden Zellen anders gestaltet als die übrigen Oberhautzellen, sie sind in der Richtung der vom Haar ausstrahlenden Radien gestreckt und bilden einen Stern um das Haar und sind dann häufig stärker verkieselt als die übrigen wellig contourirten Epidermiszellen, so bei *Davilla brasiliana* DC., *rugosa Miq.* (auf beiden Blattseiten) bei *Delima rugosa* (auf der Oberseite des Blattes), bei *Curatella americana* und *Davilla Radula* Mart., nur dass bei letztgenannten beiden Pflanzen jede die Scheibe bildende Zelle zu einem kurzen Trichom ausgebildet ist.

Die pflanzlichen Brennhaare, wie sie besonders in den Gattungen *Urtica, Laportea, Loasa* etc. als wirksames Schutzmittel ausgebildet werden, verdanken die Fähigkeit, als allzeit bereite Waffen functioniren zu können, in erster Linie ihrem Kieselsäuregehalt, der innerhalb jedes Haares in sinnreicher Weise variirt. So sind z. B. die Membranen der Brennhaare von *Urtica dioica* und *U. urens* innerhalb des kugligen Köpfchens und des daran grenzenden Haartheiles in ihrer ganzen Dicke verkieselt. Weiter nach dem Haargrund zu nimmt die Dicke der verkieselten Region rasch ab. Ein angefertigtes Kieselskelett besteht unten nur noch aus einem sehr dünnen Häutchen, der äussersten Cuticularschicht. Die Grenze zwischen verkieselter Wandpartie ist sehr scharf; letztere ist bis zum Bulbus hinab mit Kalkcarbonat incrustirt. Fig. 20, Taf. VIII stellt ein Brennhaar von *Urtica dioica* dar. a a

dunkel gehaltene Partie kieselsäurefrei (kalkhaltig), b b verkieselte Theile des Haares. Aehnlich sind die Brennhaare von *Urtica membranacea, pilulifera, Laportea* gigas etc. Bei den *Loasaceen (Loasa tricolor, papaverifolia, hispida, Blumenbachia Hieronymi, Cajophora lateritia)* sind abweichend davon, nur die äussersten Cuticularlamellen, ein ganz dünnes Häutchen bildend, verkieselt, alle übrigen Membrantheile mit kohlensaurem Kalk incrustirt. Ganz nebenbei sei hier erwähnt, dass die Sprödigkeit und Steifheit nicht aller Brennhaare durch Kieselsäure-Einlagerung hervorgerufen wird, denn die Gebilde enthalten bei den *Euphorbiaceen, Jatropha stimulata* und *urens* keine Spur dieser Substanz, sondern haben durch starke Verholzung jene Eigenschaften angenommen.

Während in den meisten Fällen die Haargebilde, aus welchen die Pflanze eine gegen Verdunstung schützende Hülle formirt, durch frühes Absterben lufthaltig werden, kommen bei einigen *Crassulaceen,* so besonders bei Arten der im Kaplande heimischen Gattung *Rochea* grosse blasenförmige Trichome vor, deren Inhalt erst sehr spät schwindet und noch an vollständig ausgebildeten Blättern aus dünnem Plasmaschlauch und grosser Zellsaftvacuole besteht. Die Wände dieser Blasenhaare, welche die Epidermiszellen an Volumen um das 5—600fache übertreffen, sind nach aussen zu durch Kieselsäure-Einlagerung steinhart und hinterlassen beim Glühen ein zierliches Kieselskelett wie die *Diatomeen.* Durch sie werden diese Haare zu dem, was sie sind, zu Wasserreservoiren, aus welchen die Blattzellen zu Zeiten der Dürre ihren Wasserbedarf schöpfen können, so dass *Kerner*[2]) sie mit Recht mit Glasgefässen vergleicht, deren Mündungen gegen das Blattgewebe hingewendet sind, deren Wände keine Spur von Wasser nach aussen treten lassen, sondern nur nach innen, wo es Epidermis- und Mesophyllzellen begierig aufnehmen. Dass gleichzeitig der Kieselpanzer ein wirksamer Schutz gegen Angriffe mancher Art ist, braucht nicht besonders erörtert zu werden. Fig. 51 Taf. III stellt eine Reihe solcher Blasenhaare von *Rochea falcata* dar, gezeichnet nach einem Blattquerschnitt. Die Membran der Haare ist ziemlich dick, deutlich geschichtet und in der äussersten Partie so stark verkieselt, dass beim Druck Risse entstehen, wie bei b angedeutet. Das

---

[1] *Haberlandt, G.* Zur Anatomie und Physiol. der pflanzlichen Brennhaare. (Sitzber. d. Akad. d. Wiss. I. A. Febr. 11. 1886.)

[2] *Kerner von Marilaun, A.* Pflanzenleben. Bd. I. p. 298.

Blasenhaar a zeigt deutlich den central an Plasmafäden aufgehängten Kern. Mit Chlorzinkjod färbt sich die verkieselte Schicht gelb, ein Beweis, dass dieselbe ausserdem cuticularisirt ist, die innerste Schicht färbt sich lebhaft blau, was bei längerer Einwirkung des Reagenzes auch die Mittelschichten thun. Meist enthalten die Haare auch Stärke.

Es sind eine Menge Pflanzen bekannt, bei welchen sich die Verkieselung auf die von derselben meist bevorzugte Epidermis beschränkt, Mesophyll und Nerven sind kieselsäurefrei, wie z. B. für *Petraea volubilis, guianensis, Celtis Chichilea, Anona muricata, Monospora rotundifolia Hochst. Hylotheca Kraussiana Hochst., Myrodia longiflora Sw., Luhea divaricata Mart. et Zucc., Hiptage, Madablota Gärtn., Thryallis latifolia Mart., Malpighia glabra L., Byrsonyma pachyphylla Juss., Homalium racemosum Jacq., surinamense Steud., Tournefortia humilis L., hirsutissima Sw., Peridium ferrugineum Schott., glabratum Schott., Dalechampia coriacea Klotzsch, pentaphylla Lam., Sapium aucuparium Jacq., Mabea Taquari Aubl., glauca Klotzsch, Piriri Aubl., Rottlera tetracocca Roxb., Coussapoa augustifolia Aubl., latifolia Aubl., Artidesma paniculata Roxb.* nachgewiesen ist; doch kommen in dieser Hinsicht alle denkbaren Variationen vor und eine ununterbrochene Reihe beginnt mit Blättern, bei welchen nur die äussersten Epidermismembranen verkieselt sind, und endet mit solchen, deren sämmtliche Zellmembranen von der Kieselsäure incrustirt sind. So finden wir unter unseren Laubbäumen solche, die in der Blatt-Epidermis nur Spuren von Kieselsäure, deren Nerven aber stark verkieselt sind z. B. *Quercus Robur, Suber, Fagus sylvatica,* ferner *Doliocarpus pubiflorus Miq.*

Epidermis und Gefässbündel werden, wenigstens in älteren Blättern gleichzeitig verkieselt angetroffen bei *Ficus elastica, Sycomorus, trachyphylla, Onosma echinata, Rubia lucida, Silphium connatum, trifoliatum, Heliopsis laevis, Montagnaea arborescens, Deutzia scabra, Ceratonia Siliqua, Magnolia grandiflora, glauca, Davilla brasiliana, pilosa Miq., Chrysobalanus Icaco, Hirtella punctulata Miq., Monospora grandifolia Hochst., Azara Lilen Bert., Heropetalum rotundifolium Hochst., Guazuma ulmifolia Lam., Grewia Microcos L., Dasynema ulnifolium Mart., Stigmatophyllum convolvulifolium Juss., Casearia fallax Miq., Fockeana Miq., javitensis H. B. K., parviflora W., Mystroxylon pubescens Eckl. et Zeyh. Spixia Leandri Mart., Antidesma Menasu Miq., diandra* etc.

Das Mesophyll des ganzen Blattes ist verkieselt bei *Ficus Sycomorus, trachyphylla, Fagus sylvatica, Quercus Suber, Deutzia scabra, Phragmites communis, Theobroma Cacao, Thunbergia laurifolia; Pandanus*-Arten, *Bambusa*-Species und vielen Gräsern, während neben den Gefässbündeln nur einzelne Zellpartien des Mesophylls Kieselsäure führen bei *Hippocratea scandens, Tournefortia elongata Lam.*, in den Wurzelblättern von *Biotia corymbosa DC.*

Mehr oder minder intensive Verkieselung in verschiedenen Theilen ist den Cystolithen und cystolithenartigen Membranverdickungen und deren Tragzellen eigen. Am häufigsten sind nur die Stiele der sog. ächten Cystolithen und die der Basis derselben anliegenden Membranpartien der Tragzellen mit Kieselsäure incrustirt, so bei fast allen *Ficus*-Arten, bei *Morus alba* und *nigra, Celtis Tournefortii,* den meisten *Parietaria*-Arten u. s. f., bei welchen Pflanzen der Stiel des vollkommen ausgebildeten Cystolithen in seiner ganzen Ausdehnung der Incrustation unterliegt. Bei *Momordica charantia* und einigen anderen *Cucurbitaceen* ist nur ein scharf umschriebener der Tragzelle direkt ansitzender Theil des Stieles gleichmässig stark verkieselt (in Fig. 30, Taf. IV), wogegen der übrige Theil des Stieles und der Kopf ein zartes, maschiges Kiesel-Skelett hinterlässt. (Fig. 30, Taf. IV). Durchmustert man die bis jetzt bekannten Cystolithen, so findet man bereits alle Stufen der Verkieselung vertreten. Bei manchen, z. B. denen vieler *Acanthaceen* umgiebt nur eine feine Kieselhaut den Cystolithen-Kopf, selbst der Stiel bleibt unverkieselt, bei anderen ist der Stiel verkieselt und der Kopf nahezu kieselfrei, bei wieder anderen sind ausser dem Stiel auch Schichten des Kopfes incrustirt, bei *Ficus Sycomorus* begegnen wir sogar ganz aus Kieselsäure bestehenden Cystolithen.

Wie ich in dem speciellen Capitel über Cystolithen dargelegt habe, gehen letztere allmälig über in jene knötchen- oder zapfenartigen Gebilde, die wir in den Zellen der Epidermis und des Mesophylls aus der Umgebung der Trychome oder Cystolithenzellen bei den *Cucurbitaceen, Cannabineen, Borragineen,* vielen *Synantherеen* und *Ulmaceen* fast ausnahmslos finden, die massive, aus einzelnen Celluloseschichten formirte, meist mit Kalkcarbonat incrustirte Vorsprünge darstellen, welche, mit breiter Basis der Innenwand der Tragzelle inserirt, in deren Lumen hineinragen. Dieselben gleichen, je kleiner die Insertionsebene ist und je statt-

licher der ins Zellinnere hineinragende Theil entwickelt ist, um so mehr ächten Cystolithen, während sie andererseits bei breiter Insertion und geringer Erhebung über die Membran der Tragzelle übergehen in die verkalkten, einfachen Membranverdickungen wie wir sie bei zahllosen Trichomen im Pflanzenreich kennen. Es kann nach meinen Untersuchungen keinem Zweifel unterliegen, dass von letzteren eine ganz continuirlich verlaufende Reihe von Vorsprungsbildungen zu den ächten Cystolithen emporführt, so dass eine natürliche Grenze zwischen jenen und diesen nicht existirt. Daher finden wir auch alle Verkieselungs-Erscheinungen, welche wir bei ächten Cystolithen wahrzunehmen gewohnt sind, in grösserer oder geringerer Intensität bei diesen Protuberanzen wieder. Die hier in Rede stehenden Bildungen sind es hauptsächlich, welche die beim Trocknen mancher Blätter erscheinenden weissen „Haarscheiben“ so deutlich hervortreten lassen. Da sie neben Kieselsäure bedeutende Mengen Kalkcarbonat eingelagert enthalten, habe ich sie in dem Capitel über kohlensauren Kalk ausführlicher behandelt; dass sie aber nicht unbeträchtliche Mengen Kieselsäure beherbergen und dieselbe sogar an der Schichtenbildung betheiligt ist, lehrt die Untersuchung des mit Salzsäure behandelten Glüh-Skeletts, welches noch vollkommen die Form des frischen Präparats beibehalten hat und die Schichtung fast deutlicher als im frischen Zustand erkennen lässt. Fig. 17 und 18 Tafel III zeigt solche Haarscheiben, 17 mehrere als Lupenansicht des Blattes von *Cerinthe alpina Kit.*, 18 eine stärker vergrösserte Haarscheibe des Blattes derselben Pflanze. In der Mitte jeder Scheibe ein rudimentäres Trichom.

Das Kieselskelett der Haarscheiben ist einschichtig, wenn es nur in der Epidermis oder in einer einzigen subepidermalen Mesophyllschicht zur Zapfenentwicklung kam, wie bei *Humulus Lupulus* Fig. 44 Taf. IV, es ist dagegen mehrschichtig und erscheint auf der Unterseite wie mit Zapfen besetzt, wenn mehrere Zellschichten, darunter auch die Palissadenschicht mit jenen Vorsprungsbildungen erfüllt waren wie bei *Bryonia alba* (Fig. 48 Taf. IV), *Cyclanthera pedata* (Fig. 34 Taf. IV), *Cucumis Colocynthis, Cucurbita Pepo, Pilogyne Ecklonii, Momordica charantia, quinquelobata, Benincasa cylindrica* etc.

Den Haarscheiben der *Cucurbitaceen* ganz nahe verwandt (aber vollkommen kalkfrei) sind die verkieselten Zellgruppen der

Aristolochia[1]-Arten, welche namentlich in der oberen Blattepidermis und dem darunter liegenden Palissadenparenchym, seltener in der unteren Epidermis oder im Mesophyll auftreten. Auch hier erkennt man diese Zellgruppen an den trockenen Blättern häufig mit blossem Auge oder der Lupe als helle pustelförmige Erhebungen entweder über die ganze Blattfläche verbreitet oder auf den Rand des Blattes beschränkt, wenn sie nicht ganz fehlen. Die Epidermiszellen der verkieselten Zellgruppen sind gewöhnlich an Innen- und Seitenwänden die Palissadenzellen an der Aussenwand und Seitenwänden stark verdickt und verkieselt. Mitunter sind die unter der verkieselten Epidermiszellgruppe befindlichen und an der Verkieselung theilnehmenden Palissadenzellen halbkugelig um ein in der Mitte der epidermoidalen Kieselzellgruppe gelegenes Centrum angeordnet und weichen gestaltlich von den übrigen mehr oder weniger ab. Bei einem Exemplar von *Ar. acutifolia* fand *Solereder* verkieselte Zellen im Mesophyll in Form einer Kugel angeordnet, wobei alle im Centrum aneinander stossenden und die radiären Wandungen verdickt, geschichtet und verkieselt waren; bei einem anderen Exemplar derselben Art um das Sklerenchym der Gefässbündel in Halbkugelform angeordnet.

Im Capitel über Cystolithen habe ich auseinandergesetzt, dass die Ausbildung der letzteren nicht selten mit der Ausformung der Tragzellen zu Trichomen in einem gewissen Antagonismus steht, so zwar, dass je vollkommener der Cystolith entwickelt ist, um so weniger die Haarnatur der Tragzelle zum Ausdruck gelangt. Wir finden bei *Ficus cerasifera* beispielsweise Epidermiszellen, die sich durch ihre Grösse von den übrigen unterscheiden und entweder einen Cystolithen enthalten oder ohne einen solchen sind, in letzterem Falle aber ihre Aussenmembran intensiv verdickt und mit einer starkverkieselten, nach aussen ragenden Spitze verziert zeigen, wie es die Fig. 16 a d e Taf. IV und Fig. 15 Taf. IV vergegenwärtigen. In a ist die Haarbildung durch die Entwicklung des stattlichen Cystolithen gänzlich unterdrückt, in e ist der letztere vorhanden und gleichzeitig die Trichomnatur der Tragzelle durch die kleine Spitze sp verrathen, in d fehlt der Cystolith ganz, statt seiner ist eine mächtige Cellulosescheibe c und die daraufsitzende Kieselspitze sp wahrzunehmen. Die uns hier allein interessirende

[1] *Solereder*, *H.* Beiträge zur vergleichenden Anatomie der Aristolochiaceen etc. (Engler's botan. Jahrb. 1889. Bd. X. H. 4. p. 435.)

Kieselsäure, welche für gewöhnlich im Cystolithenstiel deponirt zu werden pflegt, wandert in die Trichomspitze, wenn der Cystolith nicht ausgebildet wird, die Cellulose des Cystolithenkopfes wird zum Aufbau der dicken Cellulosescheibe c verwendet. Fig. 24 *α* Taf. VIII stellt eine Kieselspitze der genannten Pflanze mit den sie umgebenden radial ausstrahlenden Epidermiszellen in der Ansicht, die darunter liegenden Blattzellen im Querschnitt dar, *β* das Kieselskelett der Spitze.

Auch Pflanzen, in denen wir keine Cystolithen entdecken können, bei denen aber die gewöhnlich wohl ausgebildeten Haare mitunter stark reducirt werden, kommt es zur Erzeugung ganz ähnlicher Kieselspitzen, wie sie z. B. *Heinricher* an mehreren *Campanula*-Arten beobachtet hat. Er konnte constatiren, dass *Campanula persicifolia* behaart und unbehaart vorkommt. Die Trichome der behaarten Form besitzen stark verkieselte Membranen; bei der unbehaarten Form äussert sich der Trieb zur Trichombildung, der wahrscheinlich in Folge gewisser Vegetationsbedingungen nicht vollkommen befriedigt werden kann, in der Produktion von Membran-Ausstülpungen in der Mitte der Epidermiszellenaussenwände. Die zugeführten Cellulose- und Kieselsäure-Mengen werden dann nicht in gewöhnlicher Weise verwendet, sondern zur Ausbildung von eigenthümlichen Cellulosepfropfen in der Aussenmembran, welche unter der Cuticula scharf contourirte, verschieden gestaltete Partien stark silicifirter Cellulose tragen, benutzt. Gewöhnlich springt in der Mitte jeder Epidermiszelle ein grosser Höcker mit sternartig gelappter Kieselkrönung hervor und um diesen herum ein Kranz kleiner und kleinster verkieselter Protuberanzen. Fig. 23 Taf. VIII sind Kieselskelette der Mittelhöcker von Epidermiszellen der haarigen *Campanula persicifolia*. Fig. 22 stellt das Skelett einer ganzen Epidermiszelle vom Blatt der haarlosen Form dieser Pflanze dar, von aussen gesehen. ss Höcker, a a verkieselte Aussenmembran; auch die Mittellamellen m m sind stark verkieselt, ebenso die Aussenwände bis auf einen schmalen an die Mittellamelle angrenzenden Streifen sind die Seitenwände mit Kieselsäure incrustirt. Fig. 25 derselben Tafel ist der Querschnitt durch den äusseren Theil einer Epidermiszelle des Blattes von *Campanula persicifolia*, mit Chlorzinkjod behandelt; der sich

[1] *Heinricher, E.* Ein reducirtes Organ bei *Campanula persicifolia* und einigen anderen *Campanula*-Arten. (Ber. der D. Bot. Ges. Bd. III. p. 4 ff. 1885.)

nicht bläuende, hier weiss gelassene Theil ist stark verkieselt. — Aehnliche Propfenbildung mit Verkieselung fand *Heinricher* bei *Campanula grandis Fisch et Mey. (Natolia)* und *C. patula L.*

Ist die verkieselte Partie der Epidermiszelle nicht abgegrenzt, sondern schreitet sie von der Aussenseite allmälig nach Innen fort, so erhalten wir Membranverkieselungen, wie ich sie bei *Dorstenia*-Arten oft in äusserst intensivem Grade beobachten konnte. Eine grosse Zahl der Epidermiszellen ist papillenartig nach aussen vorgewölbt, in der Membran sehr verdickt und allseitig verkieselt. Verdickung und Verkieselung können soweit fortschreiten, dass die Lumina der Zellen ganz schwinden und nach dem Einäschern massive Kieselkörper restiren, veritable Kieselmodelle der betreffenden Zellen. In Fig. 26 a habe ich eine Reihe verkieselter Epidermiszellen von *Dorstenia nervosa Desv.* abgebildet, von welchen die obersten beiden (1 und 2) noch kleine Lumina besitzen, die dritte (3) dagegen ihren Hohlraum ganz verloren hat. Zelle 4 ist ein stark verkieseltes ächtes Trichom, welches noch ein bis fast ans äussere Ende reichendes, im oberen Theil capillar verdünntes Lumen aufweist. 26 b ist Zelle 1 von oben gesehen, 26 c ein längeres verkieseltes Haar. Alle Figuren sind nach Skeletten gezeichnet. Bei anderen *Dorstenia*-Arten, wie *D. caulescens L., D. Ceratosanthes Lodd., D. Contrayerva L., D. maculata, D. argentea* und *multiformis* beschränkt sich häufig die Verkieselung auf gerade oder hakig gebogene Haare.

Zuweilen, wenn auch relativ seltener, lagert sich Kieselsäure in grösseren Mengen in die Membranen mehr im Innern der Pflanzen gelegener Zellen ab. So erweisen sich die Bastfasern sehr vieler Gewächse als ziemlich reich an dieser Substanz; Leinenfaser lässt durchschnittlich 0,65 p. C. Asche mit 28.2 p. C. Kieselsäure[1]. Aehnliche Verhältnisse constatirte *Wicke*[2] bei der Nesselfaser *(Urtica)*, bei den Bastfasern von *Phormium tenax, Agave americana* etc. Die Bastfasern verschiedener Chinarinden erschienen mir ziemlich stark verkieselt. *Rosanoff*[3] fand intensiv verkieselte Membranvorsprünge (nicht Kieselkörper, wie *Zimmermann*[4] angiebt) in den zweijährigen Blättern der tropischen

[1] *Wolff, E.* Aschenanalysen. p. 110.

[2] *Wicke, W.* l. c. p. 76 ff.

[3] *Rosanoff, S.* Ueber Kieselsäureablagerungen in einigen Pflanzen. (Bot. Ztg. 1871. No. 44 und 45.)

[4] *Zimmermann, A.*, in Schenck's Handbuch der Botanik.

Diosmee Galipea macrophylla St. Hil., in denen sie in der Umgebung der am Blattrande verlaufenden, nur aus Bastzellen bestehenden Stränge auftreten. Sie sind tangential geschichtet, radial gestreift nach Art vieler Sphaerokrystalle und sitzen als Zapfen von rundlicher Gestalt den den Bastzellen zugekehrten Wänden gewisser Parenchymzellen an.

Durchmustert man die einzelnen Erscheinungen der Membranverkieselung, für welche ich soeben eine, wenn auch beschränkte Anzahl von Beispielen angeführt habe, so fällt ohne Weiteres auf, dass an derselben vorwiegend die Epidermis und ihr benachbarte Gewebe betheiligt sind, und dass in Organen, welche schliesslich bis ins Innere hinein Verkieselung erfahren, letztere doch immer in der Oberhaut beginnt und von dieser aus weiter nach innen fortschreitet; es scheint also in den weitaus meisten Fällen die Silicification in transpirirenden Oberflächen ihren Anfang zu nehmen, um später weiter rückwärts zu dringen, kurz, ein durch die Transpiration eingeleiteter und fortgeführter Process zu sein. Damit steht keineswegs in Widerspruch, dass wir auch Membranen im Innern der Pflanze gelegener Zellen verkieselt finden, denn auch an Intercellularräumen gelegene Zellen können nicht unbeträchtlich transpiriren. Die sehr verschieden erscheinende Vertheilung der Kieselsäure beruht häufig auf Täuschung, insofern wir z. B. manchen Cystolithenstiel für besonders intensiv mit dieser Substanz incrustirt halten, weil er einen beträchtlichen Kieselrest hinterlässt, ohne in Betracht zu ziehen, dass die dünne Membran der Trägerzelle oft einen relativ ebensogrossen Bruchtheil ihrer Masse als Skelett übrig lässt. Die feinen Kieselamellen, die viele dünne Membranen beim Glühen geben, repräsentiren oftmals einen grösseren Theil der ursprünglichen Masse, als der quantitativ bedeutendere Rückstand einer dickeren Membran, eines Cellulosezapfens etc. Eine Vergleichung von Kieselrest und intacter incrustirter Membran ist unerlässlich, sollen nicht die wunderlichsten Täuschungen unterlaufen, von deren Gegenwart in früheren Angaben man sich leicht überzeugen kann. So bezeichnet man manche Bastfasern und andere sklerenchymatische Elemente als stark verkieselt, welche relativ nicht mehr Kieselsäure enthalten, als die sie umgebenden dünnwandigen Zellen. Nur unter Berücksichtigung erwähnter Vorsicht wird man ein richtiges Bild von Unterschieden im Grad der Verkieselung auch dann gewinnen, wenn quantitative Analysen noch fehlen. So können wir Pilz-

membranen als durchgehends arm an Kieselsäure bezeichnen, die Flechtenmembranen als reich daran, denn selbst wenn letztere sehr zart sind, hinterlassen sie meist einen stattlichen Kieselrest (Apothecien von *Hagenia ciliaris*, Apothecien und Thallus von *Peltigera canina*, *Cladonia rangiferina*, *Gyrophora pustulata*, *Cetraria islandica* etc.; dasselbe gilt für die Membranen der meisten Gräser, Palmen etc. — Relativ arm an Kieselsäure sind die Holzfasern unserer meisten Laubbäume (*Fagus sylvatica*, *Quercus Robur*, *Betula alba*, *Salix alba*, *Tilia europaea*, *Ulmus campestris*, *Sorbus Aria*, *Pirus*-Arten, *Populus*, *Juglans*, *Aesculus Hippocastanum* etc.), reicher die Holzfasern (resp. Gefässe und Holzparenchym) unserer Nadelbäume (*Pinus sylvestris*, *P. Abies*, *P. Picea*, *P. Pumilio* etc.).

Untersuchen wir dagegen die Blattzellen, vor allem die Epidermiszellen, so finden wir deren Membranen relativ reich an Kieselsäure, was sich einigermassen auch schon beim Vergleich des Kieselsäuregehalts der Reinasche von Holz und Blatt ausspricht, wobei noch zu berücksichtigen ist, dass der Kieselsäuregehalt in den Membranen peripherisch gelegener Zellen durch den Beitrag der Innenzellen (mit nur Spuren von Kieselsäure) zur Gesammtasche procentisch etwas herabgedrückt wird.

Folgende Zahlen mögen die grossen Differenzen illustriren:

	Procent Kieselsäure in	
	Holz	Blatt
Aesculus Hippocastanum	0,67—2,60	—13,91
Morus alba	3,43	21—37,71
Fagus sylvatica	5,09—6,69	—32,64
Quercus Robur	1—5,44	—30,95
Pinus sylvestris	3,31—8,39	45—69,99
Pinus Abies	18—30	70—71,39

etc.

und noch geringer als im Stammholz ist die Menge der Kieselsäure im Holz der Wurzeln.

Der Gehalt an Kieselsäure untergetauchter Pflanzen[1] erhebt sich selten über 4—5 p. c. der Reinasche, der von Wasserpflanzen mit

[1] Ein oft nicht unbeträchtlicher Theil der bei der Analyse von Wasserpflanzen sich ergebenden Kieselsäure rührt, wie ich mich überzeugen konnte, in vielen Fällen von *Diatomeen* her, welche den Wasserpflanzen äusserlich anhaften, mitunter in solchen Mengen, dass eine zusammenhängende Haut von

Blattorganen, welche die Luft berühren, steigt schon beträchtlich höher, so z. B. bei

Lemna trisulca auf 16,05 p. c.
Hottonia palustris „ 23,97 „
Trapa natans „ 28,66 „
etc.

Allgemein kann man behaupten, dass die stärkste Anhäufung von Kieselsäure in den Pflanzen statthat, welche einen sehr intensiven Transpirationsprocess unterhalten, und innerhalb dieser wieder an solchen Stellen, an welchen grosse Mengen Transpirationswassers zur Verdampfung gelangen. In mehrjährigen Organen steigt der Kieselgehalt mit dem Alter. Hiermit ist nur die Regelmässigkeit, mit der die Kieselsäure sich innerhalb einer Pflanze zu placiren pflegt, angedeutet, wieviel Kieselsäure von der Pflanze überhaupt aufgenommen wird, hängt naturgemäss in erster Linie davon ab, wieviel amorphe, durch kohlensaures Kali oder Natron in Wasser löslich zu machende Kieselsäure im Boden vorhanden ist und ferner von der individuellen Neigung der Pflanze, lösliche Kieselsäure in sich aufzunehmen, welche, wie bereits früher gesagt, bei den sogenannten „Kieselpflanzen" im engeren Sinne am grössten ist.

So sicher es ist, dass der Transpirationsprozess einen nicht unbedeutenden Einfluss auf die Membranverkieselung hat, so beweist doch die Gegenwart der Kieselpanzer der *Diatomeen,* dass auch ohne Transpiration eine Incrustation der Membran von der Zelle bewerkstelligt werden kann. Es würde sich zwar zunächst fragen lassen, ob bei den zierlichen Schalen der *Diatomeen* überhaupt eine Cellulosegrundlage vorhanden ist? Diese Frage ist von *Pfitzer*[1] bereits für eine Anzahl *Diatomeen* beantwortet, denn dieser Forscher sagt gelegentlich, man behalte nach Entfernung des Kieselgehalts durch Flusssäure „die organische Grundlage als zarte biegsame Haut übrig, welche ihrer Substanz nach aus einer Modification der Cellulose, die mit Jod auch bei Einwirkung quellungserregender Stoffe, wie Schwefelsäure etc. sowie nach vorgängiger Behandlung

Kieselschalen beim Verbrennen übrig bleibt, die man bei mikroskopischer Betrachtung leicht auf ihre wahre Herkunft prüfen kann. So fand ich z. B. *Padina Paronia* fast lückenlos überzogen von *Cocconeïs*-Individuen, untermischt mit *Navicula, Cymbella, Biddulpheaceen* etc., ebenso *Fucus, Laminaria, Sargassum-Exemplare;* ich glaube daher, dass der Kieselgehalt dieser Algen selbst ein ganz minimaler ist.

[1] *Pfitzer*, Schenk's Handbuch. Bd. II. p. 410.

mit Kalilauge oder Salpetersäure und chlorsaurem Kali nur braungelb, nicht blau wird, besteht". Ich kann diese Angaben *Pfitzer's* bestätigen und nehme an, dass in Fällen, in welchen von der Membran nichts mehr nach der Flusssäureeinwirkung zu bemerken war,[1] diese eben so stark verkieselt war, dass eine zusammenhängende Haut nicht mehr zurückbleiben konnte. Dass die Kieselsäure eingelagert ist und nicht etwa nur aufgelagert, geht aus dem optischen und chemischen Verhalten der Schalen ohne Weiteres hervor und meine sonstigen Erfahrungen über Verkieselung legen mir die Ansicht nahe, dass auch in den *Diatomeen*-Panzern die Kieselsäure als solche und nicht als organische Kieselverbindung eingelagert ist. Von Transpirationswirkung kann hier naturgemäss nicht die Rede sein, die Kieselsäure also nicht sozusagen als Transpirationsrückstand aufgefasst werden, sondern wohl am besten als das in der Membran zurückbleibende Produkt eines dialytischen Processes, bei welchem die Zellmembran als Dialysator functionirt. Es lässt sich nicht verkennen, dass im ersten Augenblick zwischen der Eisenoxydhydrat-Einlagerung in den Scheiden der Eisenbacterien und der Kieselsäure-Incrustation der *Diatomeen*-Panzer eine grosse Analogie zu herrschen scheint; allein bei näherer Betrachtung offenbart sich ein fundamentaler Unterschied; denn das Incrustationsmittel der Eisenbacterien ist erst durch den Lebensprozess der Spaltpilze (durch Oxydation des im Wasser gelösten Eisenoxyduls) erzeugt worden, während die Kieselsäure schon als solche im Wasser gelöst in die *Diatomee* eintritt und nur aus der Lösung sich ausscheidend am Aufbau der Zellhaut theilnimmt; dort ist der Incrustationsstoff das Nebenprodukt eines die Energiequelle des Organismus darstellenden Oxydationsprozesses und seine mechanische Leistung gegenüber der chemischen des Oxydulsalzes kaum in Anschlag zu bringen, hier nimmt die Kieselsäure kaum am Stoffwechsel theil und ihre Rolle ist eine vorwiegend oder ausschliesslich mechanische. Beide, Eisenhydroxyd und Kieselsäure, gelangen in gelöster Form in die Membran und werden innerhalb derselben in den festen Aggregatzustand übergeführt; während aber die *Diatomeen* sicher auch ohne Kieselsäure zu leben vermögen, ruft Eisenmangel im Wasser den sofortigen Untergang der Eisenbacterien hervor.

[1] *Strasburger*. Das botan. Practicum. Jena. 1887. p. 330.

KAPITEL VI.

VERKIESELUNGEN IM ZELLINNERN.

Von innern Kieselbildungen wurden zuerst bekannt die Ablagerungen amorpher Kieselsäure in den Zellen des Rindenparenchyms der westindischen *Chrysobalanee Moquilea* (el cauto), welche geschichtet, doppeltbrechend, opalisirend sind und oft in die feinsten Tüpfelkanäle eindringend, gleichsam Abgüsse der sie enthaltenden Zelllumina darstellen. Es ist für diese Bildungen, welche *Crüger*[1] 1857 beschrieb, leider nicht constatirt, ob sie schon in lebenden oder erst in bereits abgestorbenen Zellen entstehen, wenn auch die Angabe, dass einzelne der Kieselkörper führenden Zellen noch Stärke enthalten können, dafür zu sprechen scheint, dass ersterer Fall zum mindesten möglich ist, was unzweideutig aus den inneren Kieselbildungen hervorgeht, die *Mohl*,[2] wie bereits erwähnt wurde, in den Blättern verschiedener Pflanzen aus den Familien der *Chrysobalaneen, Dilleniaceen* und *Magnoliaceen* beobachtete und aus vielen andern, welche ich weiter unten zur Sprache bringen werde. Da es mir gelang, *Cauto*-Rinde des verschiedensten Alters in schönen Stücken zu erhalten, habe ich dieselbe nochmals untersucht, ohne freilich durch meine Control-Untersuchung in die Lage gekommen zu sein, den ausführlichen Angaben der ausgezeichneten *Crüger*'schen Abhandlung wesentlich Neues hinzufügen zu können. Nur so viel geht aus meiner Prüfung ganz jugendlicher Rinden sicher hervor, dass die Erfüllung der Zellen mit amorpher Kieselsäure schon bei ihren Lebzeiten vor sich geht und Hand in Hand mit einer gleichzeitigen Verkieselung der Membranen schliesslich alle Gewebepartien der Rinde befällt, so dass der Aschengehalt von 23,30 p. c. bei junger Rinde auf 30,8 p. c. bei der alten steigt, der Kieselsäuregehalt der letzteren aber bis 96,3 p. c. der Asche anwachsen kann. Alle Zellen, mögen sie nun geformt sein, wie sie wollen, verkieseln so, dass das Lumen von Aussen nach Innen sich mit Kieselsäure anfüllt. Diese ist zunächst porös, wird aber bald von Aussen her massiv und glasartig durchsichtig, erfüllt alle Tüpfelkanäle und stellt einen äusserst genauen Abguss des Zellen-Hohlraums dar. Der centrale Theil dieses Kieselkerns bleibt entweder zeitlebens porös oder wird schliesslich ebenfalls glasartig homogen. Ich habe

[1] *Crüger*, *H.*, Bot. Ztg. 1857. p. 299 ff.

[2] *Mohl*, *H. v.*, l. c. p. 230.

auf Taf. III in den Figg. 41—50 eine Reihe interessanter, und nirgends als in der *Cauto*-Rinde so schön auftretender Verkieselungserscheinungen nach eigenen Präparaten dargestellt. Die Zellmembranen verkieseln stets zuletzt, weshalb man in älteren Rinden durch Kochen mit Kalilauge, das natürlich mit Vorsicht ausgeführt werden muss, die Kieselkerne von einander isoliren kann. Die Fig. 41, 44 und 46 stellen solche von der Membran befreite Kieselkerne dar. Die Ausfüllungen der Tüpfelkanäle erscheinen als nach allen Seiten ausstrahlende Zapfen p p p. Bei 41 ist der eigentliche Hohlraum der Zelle durch einen massiven Kern erfüllt, bei 44 dagegen ist noch eine centrale Höhle vorhanden. Fig. 46 ist das Fragment des Kieselkernes einer Parenchymzelle, deren Lumen bis zu einem dünnen Kanal vor der Verkieselung verengt worden war. In Fig. 42 ist die geschichtete dicke Zellmembran noch erhalten, aber ebenfalls schon intensiv mit Kieselsäure imprägnirt, der Kieselkern ist etwas dunkel gehalten. Die Markstrahl- und platten Parenchymzellen der Innenrinde verkieseln entweder so, dass sich im Innern ein oder mehrere Kieselkerne ausbilden, oder dass sich wie gewöhnlich eine mehr oder minder dicke Kieselschale ausscheidet. Der oxalsaure Kalk, der in grossen monoclinen Krystallen in der Rinde auftritt, ist noch vollständig erhalten und scheint durch die Verkieselung niemals beeinflusst zu werden. Weiter nach Aussen findet man in der Rinde vielgestaltige Zellen, Parenchymzellen, deren relativ dünne, geschichtete Membranen meist wenig verändert sind, deren Kieselkerne innen meist einen Hohlraum besitzen und auf der Aussenseite mit feinen kurzen Warzen besetzt sind. *Crüger* nennt diese Zellen Zackenzellen, weil sie ihrer vielen Zacken wegen oft die abenteuerlichsten Gestalten zeigen. Fig. 44 a–d sind solche Zackenzellen und zwar ist a eine der einfachen warzigen Formen, neben welchen ich noch solche, wie in b und c wiedergegeben sind, mit glatter Oberfläche häufig beobachtete. Mitunter erkennt man wie in d noch Scheidewände, welche, wie auch die Mehrzahl poröser Centralpartien, auf eine Entstehung mancher der Zackenzellen aus mehreren einfachen rundlichen Parenchymzellen schliessen lassen. Die Kieselkerne dieser Zellen sind es besonders, welche durch Glühen die Eigenschaft erhalten, bei auffallendem Licht in den mannigfaltigsten Farben zu schillern, orange, gelbgrün, gelbroth, feuerroth, rubinroth, blau, grün, violett, wobei oft sämmtliche Farben in einem Kiesel erscheinen oder an demselben in verschiedenen Lagen be-

merkbar werden. Es erinnern diese Kiesel lebhaft an das Farbenspiel des mit Wasser behandelten, gebrannten *Tabaschirs,* nur dass sie letzteren noch übertreffen. Auf nassem Wege eingeäscherte Exemplare dieser Zellen sind ohne Farbenspiel und erscheinen nur milchig. Merkwürdig ist, dass diese Kieselkerne durch Glühen zu Opalen werden, während Opale durch dieselbe Procedur ihr Farbenspiel bekanntlich einbüssen. In der Aussenrinde begegnet man zahlreichen Bastzellen, deren dicke Membranen wenig oder gar nicht verkieselt sind, die nach Einäscherung auf nassem Wege äusserst zierliche Gerippe liefern, welche nicht nur das gewöhnlich sehr enge Lumen, sondern auch alle Porenkanäle mit den Verzweigungen und der Erweiterung am Aussenende aufs Genauste wiedergeben. Das aus polyëdrischen platten Zellen bestehende Korkgewebe verkieselt schnell und vollständig, die Zellen füllen sich meist bis auf kleine centrale Partieen mit glasartiger Kieselsäure an, die Membranen verkieseln meist nicht und ich kann mich der Ansicht *Crüger's* anschliessen, dass reine Cellulosemembranen am leichtesten zu verkieseln scheinen, während verholzte, verkorkte oder sonstwie veränderte Zellhäute der Silicification wesentlich länger zu widerstehen pflegen. Relativ seltener findet man in der Rindenasche Kieselkerne mit Porenzapfen p wie 41, bei welchen die Membran zwischen den Porenzapfen ebenfalls vollständig in homogene Kieselsäure umgewandelt ist. Im Holz- und Markstrahlparenchym fand *Crüger* häufig solide durchsichtige Kieselkerne von unregelmässigen Formen, die Zelle nicht ausfüllend, sondern viel kleiner als das Lumen derselben. Einzelne Zellen der unteren Blattepidermis pflegen vollständig verkieselten Inhalt zu führen und den Blattfaserbündeln in den Nerven der Blätter sind Deckzellen mit rundlichen, freibeweglichen Kieselkörpern angelagert. Aehnliche Kieselbildungen wie die der *Cauto*-Rinde sah *Crüger* in der Frucht von *Scleria Flagellum,* im Stuhlrohr, in der Rinde und dem Holz von *Petrea volubilis* und *arborea,* bei welchen letzteren neben verkieselten Holzparenchym- und Markstrahlzellen auch verkieselte Gefässe und Thyllen vorkommen. Es sei hier noch erwähnt, dass bei der *Cauto*-Rinde auch die Intercellularräume häufig mit Kieselsäure ausgefüllt werden, was dann meist zuletzt geschieht und häufig ein festes Zusammenkitten benachbarter Zellen veranlasst. Kieselstücke, wie eins in Fig. 45 Taf. III wiedergegeben ist, entstammen Intercellularräumen.

Mohl fand Kieselsäure in Form eines oder mehrerer Körner

oder einer feinkörnigen die ganze Zelle erfüllenden Masse in den Zellen der die Haare umgebenden Scheibe bei der *Dilleniacee Davilla brasiliana*, in den Epidermiszellen des *Cauto*-Blattes und der Blätter von *Chrysobalanus Icaco*, *Licania crassifolia Benth.*, *Hirtella racemosa Lam.* und *punctata Miq.*, *Davilla Radula Mart.* oder endlich in Gestalt solider das ganze Zellinnere sammt den Porenkanälen ausfüllender Kieselmassen nahe den Gefässen in den Blättern von *Hirtella racemosa Lam.*, *Davilla brasiliana DC.*, *Mirbelia nilagirica Zenk.*, *Licania crassifolia* und *Magnolia glauca*.

Drei Jahre später erkannte *Metteniu s*[1] die im Innern der von *Link* 1849 entdeckten *Stegmata* (Deckzellen) befindlichen Gebilde als kieselsäurereich und 1871 fand *Rosanoff*[2] die Kieselkerne in den Deckzellen einiger Palmen (*Phoenix dactylifera*, *Caryota urens* etc.), auf welche ich weiter unten zu sprechen kommen werde.

Endlich gehören hierher die eigenartigen Kieselkörper, welche *Cario*[3] in der *Podostemacee Tristicha hypnoides* Spreng. fand und 1881 betrieb. Es ist nothwendig, auf diese interessanten Bildungen näher einzugehen, weshalb ich hier das Wichtigste aus den *Cario*'schen Mittheilungen wiedergebe.

Sowohl in den Epidermiszellen der Oberseite (besonders in denen der Flanken) als auch in subepidermalen Zellen des sogenannten Thallus sind Kieselkörper häufig enthalten. Selbst zu Haaren ausgewachsene Epidermiszellen lassen in ihren Basaltheilen oft Kieselkörper erkennen. Im innern Theil des Thallus treten sie seltener auf; sind sie vorhanden, so lagern sie in engen, langgestreckten Zellen des Grundgewebes, die das Gefässbündel einschliessen. Die kieselführenden Zellen stehen auf Längsschnitten niemals vereinzelt, sondern schliessen in Längsreihen stets an einander. Die Kieselkörper des Thallus sind bolzenförmige, compacte durch ihr starkes Lichtbrechungsvermögen auffallende Massen, welche ringförmig oder spiralig verlaufende Leisten oder unregelmässig isolirte oder netzartig verbundene Vorsprünge tragen. Mitunter sind sie durchbohrt oder unregelmässig ausgehöhlt. Allen diesen Sculpturcinzelheiten schmiegt sich die Membran der einschliessenden Zelle eng an, so dass sie

[1] *Metteniu s*, *G.*, Abhandl. d. math.-phys. Classe der K. sächs. Ges. d. Wiss. Bd. VII. No. II. 18864. p. 419.

[2] *Rosanoff*, Bot. Ztg. 1871. p. 749.

[3] *Cario*, Anatomische Untersuchung von Tristicha hypnoides Spreng. (Bot. Ztg. 1881. J. 39. No. 2 ff. p. 28 ff.).

nach dem Herauslösen des Kieselkernes ein negatives Bild der Oberfläche des letzteren liefert.

Auf der Ober- und Unterseite der Blattlumina ist ebenfalls eine bald zusammenhängende, bald unterbrochene Schicht kleiner Kieselkörperchen sichtbar, welche in der äusseren Membran eingebettet zu liegen scheinen; sie lagern meist über den Grenzkanten benachbarter Blattzellen und geben sehr verschiedene Querschnittsformen. Berühren die benachbarten Kieselkerne sich nicht oder kaum, so zeigen sie im Querschnitt die Form eines flachen, gleichschenkligen Dreiecks, das mit der Spitze nach unten mitten zwischen zwei polyëdrische Blattzellen hineinragt. In anderen Fällen lagern sie dicht bei einander und sind massiger, so dass es mehr den Anschein hat, als lägen sie im Innern von Zellen mit senkrechten Seitenwänden. Von den Kieselkörpern des Thallus unterscheiden sich die der Blätter wesentlich nur in der Form; am auffallendsten sind die Körperchen von dem Umriss eines stumpfwinkligen Dreieck, die wie die Kieselkörper des Thallus mit schwachen, ringförmigen Leisten versehen sind und zuweilen unregelmässige Vertiefungen und Durchbrechungen zeigen. Sehr abweichend sind sodann einige gestreckte Formen, die eine oder zwei rippenförmige Längsleisten tragen, von welchen wieder kleine erhabene Seitenzweige ausgehen, unter einander oder mit den Seitenzweigen anderer Rippen anastomosirend. Es entstehen auf diese Weise vielzackige Sterne, lappige Körper, welche neben halbmondförmigen und einfach langgestreckten Kieselkernen für die Blätter der untersuchten Pflanze charackteristisch sind. Die Anordnung der Kieselkörper auf der Blattfläche ist eine sehr regelmässige; die gestreckten lagern über der Mittelrippe, die strahligen um sie herum auf der Lamina und zwar so, dass die mehrstrahligen in der Nähe der Mittelrippe, die halbmondförmigen mehr nach dem Rande zu anzutreffen sind. Dreieckige Kieselkörper erfüllen die Blattzähne. Ueber der Mittelrippe schliessen die Kieselkörper dicht aneinander und die sie trennenden Membranstreifen erscheinen dem Umriss der Körper folgend nur wenig gewellt. In der Umgebung der Mittelrippe schliessen sich die strahligen Kieselkörper ebenfalls dicht aneinander. Da nun die Membran überall den Körpern dicht anliegt und auch in ihre Ausbuchtungen hineingreift, so erscheinen in der Flächenansicht die trennenden Membranstreifen als Linien von gewelltem Verlauf mit vorspringenden Membranleisten. Nach dem Blattrand zu treten die Kieselkörper mehr und

mehr auseinander und nehmen die sternförmigen Gestalten an, die zuletzt ganz am Rande oder an der Spitze in die halbmondförmigen übergehen. Auf der Unterseite des Blattes sind die Kieselkörper reichlicher als auf der Oberseite. Sie erscheinen bis zur vorletzten Randzelllage, während auf der Oberseite ein breiter Saum frei von Kieselbildungen bleibt. Wo das Blatt in den Stengel übergeht, verschwinden die Kieselkörper, welche sonst immer über zwei, drei oder mehrere Blattzellen, nie direkt über einer liegen. Ueber die Entwickelung der Kieselkörper im Blatt erfahren wir von *Carlo* etwa Folgendes. Die Kieselkörper entstehen im Innern kleiner Zellen, durch welche das Blatt an den Stellen, wo die Kieselkörper sich bilden, zweischichtig wird. In den etwas gestreckten Randzellen des Blattes entstehen die Kieselzellchen durch eine auf der Blattfläche senkrechte Wand, die, fast diagonal die Zelle durchsetzend, ein scheitelsichtiges, dreieckiges Stück abschneidet, das lange Zeit durch Plasma und Kern ausgezeichnet, sich in Form eines Blattzahns vorzuwölben beginnt und den oben beschriebenen Kieselkörper bildet. Erst später zeigt der letztere scharfe Spitzen, Leisten und andere Erhabenheiten. Die Kieselzellchen der Lamina entstehen dadurch, dass zwischen der Zellaussenwand und der scheitelsichtigen Querwand schräg verlaufende Wände entstehen, die im Querschnitt dreieckige, in der Flächenansicht meist halbmondförmige Zellchen mit Zellkern und dunklem Plasma abschneiden. Nur mitunter am Blattrand berühren die Kieselzellen der Ober- und Unterseite einander.

Die Kieselkörper werden als hyaline, stark lichtbrechende Massen erst sichtbar, wenn sie einen Theil des Plasmas verdrängt haben, so dass sich über ihr eigentliches Entstehen Nichts aussagen lässt. Sie lassen sich erst erkennen, wenn vielleicht schon sekundäre Entwickelungen sich an ihnen vollzogen haben. Vorher erscheinen sie als stark lichtbrechende Stellen oder contourlose Massen; später bekommen die jungen Körper schärfere Umrisse, zeigen eingeschlossene Gasbläschen und fangen an, ihre halbmondförmige Gestalt zu verändern. Sie bekommen an der convexen Seite einen oder zwei abgestumpfte Auswüchse und werden zu mehrstrahligen, sternförmigen Körpern. Bei den in der Nähe der Mittelrippe sich findenden Körpern geht die Entwickelung noch einen Schritt weiter, indem die Seitenzweige der benachbarten Strahlen mit einander anastomisiren.

„Der Nutzen der Kieselbildungen für die Pflanze bleibt

zweifelhaft, da wir ihnen eine mechanische Bedeutung deshalb kaum zuschreiben können, weil eine Wasserpflanze von so geringer Grösse, die ausserdem meist an Stellen wächst, wo sie von der Gewalt des Wassers wenig zu leiden hat, keine besonderen Festigungsmittel nöthig hat, namentlich nicht an dem Thallus, der doch vor Allem kieselreich erscheint."

Das das Hauptsächlichste, was *Cario* über die Kieselbildungen der zierlichen *Tristicha hypnoides* sagt. Es muss auffallen, wie weit dieser Autor in seiner Ansicht über die Funktion der Kieselinhalte von der desjenigen Forschers abweicht, welcher in der Neuzeit am eingehendsten die *Podostemaceen* studirt und in mehreren hochbedeutenden Schriften die Ergebnisse seiner Untersuchungen publicirt hat. *E. Warming*[1] hat in demselben Jahre eine kurze Beschreibung der Kieselkörper, welche er im Vegetationskörper verschiedener *Podostemaceen* beobachtete, veröffentlicht. Nach seinen Erfahrungen beginnt deren Ausbildung in der Mitte der Zelle, welche sich nach und nach ganz erfüllt. Gewöhnlich bleiben kleine Zwischenräume zwischen der Concretion und der Zellwand. Das Innere des Kieselkörpers ist meist porös, die Peripherie homogen; bisweilen kann man eine centrale Höhlung erkennen. *Warming* fand Kieselkerne überall in der Epidermis und in subepidermalen Geweben wie in langgestreckten Zellen in der Umgebung der Gefässbündel. Später hat *Warming*[2] in seinen nachfolgenden Schriften über die *Podostemaceen* noch vereinzelte Mittheilungen über Kieselkörper verschiedener Angehöriger der genannten Pflanzenfamilie gemacht.

Ueber die Funktion der Kieselzellen bemerkt *Warming:* Je présume que ces formations de silex servent à rendre ces plantes capables à resister mieux la force deschirante et corrosive des torrents et des tourbillons d'eau qui se trouve dans les rivières et dans les cascades dont les rochers sont leurs vraies habitations."

Durch die Güte der Herren Professoren *Warming* und *Goebel* mit reichem Material ausgestattet, habe ich die Kiesel-

---

[1] *Warming, E.* Aftryk af Videnskabelige Meddelelser fra den naturhistoriske Forening: Kjobenhavn 1881. „Kiselsyre dannelser hos Podostemonaceae."

[2] *Warming, E.* La famille des Podostemacées. Etudes. Copenhague 1881. — Ders. Etudes sur la famille des Podostemacées. Deuxième mémoire. — Ders. Etudes sur la famille des Podostemacées. Troisième mémoire. Copenhague 1888.

körper der *Podostemaceen* einer eingehenden Untersuchung unterzogen, ihre Entwickelung an einigen Arten dieser Familie durch alle Stadien studirt und ausreichende Anhaltspunkte für eine Deutung der physiologischen Funktion dieser sonderbaren Gebilde gewonnen.

ALLGEMEINER THEIL.

Was zunächst die erste Anlage der Kieselkörper betrifft, so haben mir meine entwickelungsgeschichtlichen Forschungen deutlich gezeigt, dass eine organische Grundlage für die Kieselkörper nicht vorhanden ist, und dass sie auch später keine Spur einer organischen Infiltration zeigen. Die erste Anlage ist nicht immer dieselbe. Entweder erscheinen die Kieselkörper, wie schon *Cario* für *Tristicha hypnoides* angegeben hat, zuerst als stark lichtbrechende, contourlose Massen, oder aber von vornherein als schwammigporöse, glatt contourirte Gebilde. Im ersten Falle treten später die Umrisse schärfer und schärfer hervor und der ganze Kieselkörper bleibt glasklar (Kieselkörper des Blattes von *Terniola longipes*) oder wird in der centralen Partie porös, im zweiten Fall wächst er durch Anfügung einer gleichmässig klaren Randzone (Kieselkörper des Thallus von *Terniola longipes*).

Die Zellinhalte sind während der Ausbildung der Kieselkörper entweder von vornherein verschieden je nach dem physiologischen Werth der Zellen oder dem Grad ihrer Ausbildung oder sie verhalten sich im Lauf der Ausformung des Kieselkernes trotz sonstiger Gleichwerthigkeit und gleichen Alters abweichend. Regel ist, dass der Zellkern lange Zeit bestehen bleibt und die Gestalt des Kieselkerns beeinflusst. Häufig liegt der jugendliche Kieselkern seitlich neben dem Zellkern und drückt den letzteren bei seiner Vergrösserung irgend wo an die Zellinnenwand an. Diese Erscheinung habe ich in den Fig. a und b Taf. V veranschaulicht. a ist eine Zelle des subepidermalen Grundgewebes der Wurzel-Unterseite von *Podostemon Ceratophyllum Mich.*; b sind Zellen aus den Blättern von *Mniopsis Weddelliana Tul.*; öfter noch findet man den Zellkern im Centrum des sich von der Zellinnenwand her bildenden Kieselkörpers. Mitunter ist dann der Zellkern ganz lückenlos in die Kieselmasse eingeschlossen (c) oder er liegt neben Plasmaresten lose in einer geräumigen Höhlung (Fig. d, e, f) wie bei *Podostemon Mülleri*. Nach und nach scheint der Zellkern zu

zerfallen, worauf der Hohlraum von Kieselmasse vollends erfüllt wird, denn man findet höhlenlose Kieselkörper oder er persistirt. Auch andere Differenzirungen des Plasmaleibes vermögen die Gestalt des Kieselkörpers zu beeinflussen. Chlorophyll- und Stärkekörner verursachen Unebenheit der Oberfläche und rufen oft eine höchst charakteristische Sculptur der Kieselkörper hervor. In den Figg. g, h, i, k, k, Taf. V sind Kieselkörper aus der Epidermis dargestellt. Messungen ergeben, dass die Grösse der Maschen genau die der Chlorophyllkörner ist. Letztere sind nicht mehr erhalten sondern zerfallen, ihre Fragmente sind noch häufig in den Grübchen der Kieselkörper zu erkennen. Mit der Annahme, dass die Chlorophyllkörner oder andere Plasmagebilde und Inhaltskörper von festerer Beschaffenheit die Vertiefungen der Kieselkörper erzeugen, steht in Einklang, dass solche mit Gruben ausgestattete Kieselkörper meist nur dann in der Epidermis auftreten, wenn letztere Chlorophyllkörner enthält, dass chlorophyllose Zellen nie Kieselkörper mit derartig grubiger Oberfläche führen. Zellen, in denen ein homogenes Plasma liegt, produciren glatte oder nahezu glatte Kieselkörper, wenn auch mitunter geringe Unebenheiten oder einzelne grössere Vorsprünge durch Tüpfelkanäle und Vertiefungen durch Verdickungen der Zellinnenwand verursacht werden. Das hier Gesagte sei illustrirt durch eine Reihe von Kieselkörpern aus der Wurzel und den Blättern von *Podostemon Müllerі* in den Figuren l—r Taf. V. l m n sind Kieselkörper, deren Protuberanzen durch Eindringen der Kieselmasse in die Tüpfelkanäle entstanden sind, o p q dagegen solche mit glatter Oberfläche, in Zellen mit homogenem Plasma und tüpfelfreier Membran gebildet. Dass die Protuberanzen häufig nicht von Membranvertiefungen veranlasst sind, zeigen die Kieselkörper in der Epidermis der Blätter von *Tristicha hypnoides*, wie sie in Fig. s abgebildet sind. Die Seitenwände der Epidermiszellen sind wellig gebogen, ebenso die Contouren der von der äusseren Oberfläche gesehenen Kieselkörper, allein bei genauerer Betrachtung bemerkt man, dass die Wellungen der Membranen nicht coincidiren mit denen der Kieselkernumrisse; sonst müssten ja auch die nebeneinanderliegenden Kieselkörper mit ihren Vorsprüngen überall zahnartig ineinandergreifen, was nicht regelmässig der Fall ist. In Fig. s sind die Cellulosewände zwischen den Kieselkörpern durch verdünnte Kalilage etwas zum Quellen gebracht. Merkwürdige Leistenverzierungen besitzen viele Kieselkörper aus der Blattmittelrippe von *Tristicha*

hypnoïdes, deren Entstehungsweise darauf hinzudeuten scheint, dass die Kieselkörper ein aktives Ausgestaltungsvermögen besitzen können. Oft sind die Leisten zu Spiralen, welche den inneren Kern des Kieselkörpers umlaufen, geordnet, wie die Fig. t veranschaulicht. Die Bildung dieser Spiralleisten kann unmöglich durch passiven Druck von Plasmapartien verursacht sein, da man sonst eine spiralige Anordnung der letzteren selbst vorher müsste constatiren können, was nicht gelingt. Celluloseleisten an der Innenwand der Zellmembran sind auch nicht vorhanden und es bleibt nichts übrig, als einen dem Kieselkörper innewohnenden nisus formativus zu supponiren, der jetzt hereditär geworden ist, früher aber durch direkte Einwirkung von Plasmapartien mag ersetzt gewesen sein.

Ich würde es nicht wagen, einen so weitgehenden formgebenden Einfluss so zarter Inhaltskörper wie Chlorophyllkörner, Zellkern, Stärkekörner etc. zu behaupten, wäre es mir nicht gelungen, denselben hier bei den *Podostemaceen* ebenso wie bei den verkieselten Zellen der *Palmen* in unzweideutigster Weise durch alle Stadien hindurch zu constatiren. Es kommt nicht selten vor, bei den *Palmen* wie bei den *Podostemaceen,* dass vor Beginn der Verkieselung alle festen Inhaltskörper verflüssigt sind und ein fast glasklarer Inhalt allmälig in eine schwammige Kieselmasse übergeht, wie ich es bei *Podostemon Mülleri, Tristicha hypnoides, Mniopsis Saldanhana* etc. oft beobachtet und in den Fig. p q *(Podostemon Mülleri), z (Tristicha hypnoides),* 9 Taf. V *(Mniopsis Saldanhana)* zu Darstellung gebracht habe. Noch deutlicher habe ich diesen Vorgang in den grossen Grundgewebszellen des Blattstiels mancher *Palmen,* z. B. von *Hyophorbe indica,* gesehen. Daselbst werden häufig einzelne der stärkeführenden Zellen durchsichtig, ihre Stärkekörner verschwinden vollständig, während die der Nachbarzellen persistiren (siehe Fig. XVIII Taf. V); der gesammte Inhalt wird wasserklar, bis allmälig entweder überall gleichzeitig beginnend, oder wie in vorliegendem Beispiele von einer Seite ausgehend, eine Trübung sich einstellt, welche der sichtbare Ausdruck der Verwandlung in Kieselsäure ist. Sehr oft wird ein Theil einer Zelle durch Scheidewand abgegrenzt und verfällt der Silicification, während die andere Tochterzelle ihre Inhaltskörper behält und weiter functionirt. Diese Erscheinung trat mir öfters entgegen bei *Podostemon Schenkii, Pod. Galeonis* und bei den *Palmen* unter anderen bei *Phoenix dactylifera* (Fig. 27

Taf. V, *Podostemon Schenkei* Fig. VI Taf. V, *Phoenix dactylifera*). In Fig. 30 Taf. V habe ich eine Grundgewebszelle von *Podostemon Galvonis* abgebildet, welche durch zwei Theilwände in drei Tochterzellen zerlegt ist, von welchen zwei verkieselt sind, während die dritte noch vollständig lebensfähig ist und Stärkekörner, Plasma etc. enthält. Nimmt die Verkieselung ihren Anfang, wenn die betreffende Zelle noch Stärkekörner einschliesst, so verkieselt immer zuerst das Plasma. Stellt man sich von einer solchen Zelle ein Skelett her, so hat dieses die Gestalt wie in Fig. 22 Taf. V. Jedem Stärkekorn entspricht ein kugliger Hohlraum des Kieselgerüstes. Doch auch die Stärkekörner können dem Verkieselungsprocess anheimfallen, das beweisen meine Beobachtungen von verkieselnden Grundgewebszellen des Blattstiels von *Kentia Forsteriana*. Ich entdeckte Zellen, deren ganzer Inhalt bereits einem feinlöcherigen Schwamme aus Kieselsäure glich, in welchem aber die Stärkekörner noch deutlich sichtbar waren und auch chemisch noch nicht verändert sein konnten, da nach Zusatz von Chlorzinkjod noch eine deutliche Blaufärbung derselben eintrat. Die gelbbräunliche Lösung dieses Reagenzes dringt in ganz charakteristischer Weise von der Seite aus, an der man sie zufliessen lässt, in der Kieselmasse vor, zuerst rasch die kleinen Höhlungen und Poren füllend, die Stärkekörner umfliessend und endlich der ganzen Masse eine gelbbraune Färbung, den Stärkekörnern eine mattblaue verleihend. Die Stärkekörner müssen lose in je einer Höhlung liegen, welche vom Reagens blitzschnell erfüllt wird. Den eben kurz geschilderten Vorgang sollen die Fig. XII und XIII Taf. V illustriren. XII stellt eine Zelle mit Stärkekörnern und ziemlich klarem Inhalt dar, XIII eine solche, deren ganzer Inhalt bis auf die Substanz der Amylumkörner in eine fein poröse Kieselmasse umgewandelt ist. Die Chlorzinkjodlösung dringt von a aus ins Innere vor. Doch auch in die Substanz der Stärkekörner tritt die Kieselsäurelösung ein und, ich kann kein besseres Wort gebrauchen, versteinert dieselben im wahren Sinne des Wortes; Zellen, wie ich eine in Fig. XIV Taf. V abgebildet habe, sind nichts Seltenes. Die Form der Stärkekörner ist noch deutlich zu erkennen, und ohne Anwendung von Reagentien würde man sie für noch unverändert vorhanden halten, allein Chlorzinkjod ruft keine Bläuung derselben mehr hervor, die ganze eminent-feinporöse Masse färbt sich durch capillare Aufsaugung der Chlorzinkjodlösung bräunlich, ein sicherer Beweis, dass Stärkesubstanz nicht mehr

vorhanden ist; um die Vermuthung, es könnten an die Stelle der früheren Stärkekörner einfache Hohlräume getreten sein, auf ihre Berechtigung zu prüfen, hat man nur nöthig, das Skelett herzustellen, das aufs Deutlichste wahrnehmen lässt, dass die Stärkesubstanz durch Kieselsäure substituirt ist.

Die hier in Kürze beschriebenen interessanten Funde gelingt es mit einiger Geduld, wie bei den *Palmen* auch bei den *Podostemaceen* zu machen, besonders häufig habe ich bei *Podostemon Ceratophyllum Michx.* vollkommen analoge Stadien der Silicification beobachtet.

Die Mehrzahl der hier aufgeführten und von mir auf die Kieselkörper untersuchten *Podostemaceen* überliess mir in freundlicher Weise Herr Professor *Warming* in Kopenhagen, welcher sie dem dankenswerthen Sammeleifer der Herren Doctoren *Glaziou*, *Fritz Müller* und *Schenck* verdankt. *Terniola longipes* entstammt den ostindischen Schätzen, welche Herr Prof. *Goebel* von seinen Reisen mit heim brachte. Allen genannten Herren drücke ich an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank für ihre gütige Unterstützung aus.

Es wurden von Herrn Dr. *Glaziou* in Brasilien gesammelt *Mourera aspera, Mniopsis Weddeliana, Lophogyne arcuifera, Tristicha hypnoides, Podostemon Galronis, Mniopsis Saldanhana; Mniopsis Glazioniana* ebendaselbst von den Herren Doctoren *Glaziou*, *Fritz Müller* und *Schenck: Podostemon Mülleri* und *Schenckel.* Von Rio Bengale stammt ferner eine unbekannte sterile Species, durch Dr. *Glaziou* gesammelt, aus Nordamerika: *Podostemon Ceratophyllum,* aus Ostindien und Ceylon: *Dicraea rigida, Podostemon subulatus* und durch Professor *Goebel* vom ostindischen Festland: *Terniola longipes.*

SPECIELLER THEIL.

(Alle Figuren befinden sich auf Taf. V.)

Tristicha hypnoides Spreng (aus Brasilien).

Die Kieselbildungen dieser Pflanze sind von *Cario* so vorzüglich und eingehend beschrieben worden und das Wesentlichste seiner Mittheilungen am Anfang dieses Capitels reproducirt, dass ich auf jene Angaben verweisen kann. Ich könnte dem Gesagten höchstens noch zufügen, dass die für die Blattorgane von *Terniola*

longipes charakteristischen sternförmigen Kieselkörper auch in den Fruchtwand-Epidermiszellen von *Tristicha hypnoides* überaus häufig sind und dieselbe Entwickelung aufweisen.

(*Cario*'s Untersuchungsmaterial stammte aus einem Bache an der Westküste Guatemalas.)

Terniola longipes (aus Ostindien).

Diese winzige *Podostemacee* schliesst sich in mehreren Beziehungen an die *Tristicha hypnoides* an, besonders durch den Besitz jener eigenthümlichen sternförmigen, stark verzweigten Kieselkörper, welche hier wie bei *Tristicha* (und *Podostemon Mülleri*) den Anschein erwecken, als seien sie in die Cellulosemembran eingebettet. Allein diese Annahme erweist sich als irrig, wenn man auf Längs- und Querschnitten durch das Blatt die Entstehung dieser Gebilde verfolgt. Die Herstellung dieser Schnitte bietet allerdings grosse Schwierigkeiten wegen der minimalen Dicke und grossen Zartheit der Blattorgane und des Widerstandes der kleinen Kieselkörper gegen die Schneide des Messers, der gross genug ist, um oft eine Zerstörung des zarten Gewebes durch die vom Messer herausgerissenen und vor sich her geschobenen Kiesel hervorzurufen. Mit einiger Ausdauer jedoch ist es mir gelungen zu eruiren, dass auch bei *Terniola* alle Kieselbildungen Zellinhalte darstellen. Einige der in Rede stehenden Kieselzellen sind in Fig. 45 und 47 abgebildet; sie zeichnen sich aus durch eigenthümliche gebogene, die offene Seite nach aussen kehrende Leisten, welche sich auf der Basis erheben und einen schmalen verästelten in der Abbildung dunkel gehaltenen Canal zwischen sich lassen und ähneln einigermassen den von *Cario* Taf. I Fig. 11 abgebildeten. Am häufigsten sind sie in den breiten in eine feine Spitze endigenden Blättern zu finden, welche, wenn ich so sagen darf, die Blattrosette der *Terniola*-Sprosse nach unten abschliessen; weniger zahlreich gewahrt man sie auf den langen schmalen darauffolgenden Blättern. Ihre Ausbildung schreitet von der Spitze nach der Basis fort, d. h. an letzterer liegen die weiter ausgebildeten. An jungen Blättern bemerkt man schon auf der Flächenansicht der Blätter, wenn man scharf darnach sucht, kleine Zellchen, welche den Berührungsort von drei oder vier langgestreckten Blattzellen überdecken (vgl. Fig. 49 und 50). Diese sind es, in welchen allmälig der Inhalt zu den charakteristischen Kieselsternen erstarrt. Fig. 51 ist ein Stück eines Längsschnittes durch die einschichtige Lamina mit

den als kleine sphaerische Dreiecke erscheinenden Kieselzellen k k. Die Zellen des 5—6 schichtigen Mittelnerven sind niemals verkieselt.

Der Thallus breitet sich haftscheibenartig auf dem Substrat aus und ist mit diesem fest verwachsen. Aus ihm stammen die drei Kieselkörper, welche ich in den Fig. 46 und 48 a und b abgebildet habe, und zwar 46 und 48 a aus subepidermalen Grundgewebszellen, 48 b aus der Epidermis; erstere sind gross, weil sie ganze Zellen ausfüllen, der letztere kleiner, weil er sich erst ausbildete, nachdem die Epidermiszelle durch Theilwände in mehrere Tochterzellen zerfallen war.

Terniola longipes gehört nicht zu den an Kieselkörpern besonders reichen *Podostemaceen;* neben Kieselsäure führt sie eine ziemlich grosse Menge von Kalkoxalat, theils in Form monokliner Krystalle, theils als Sphaerite.

Podostemon Ceratophyllum Michx. (aus Nordamerika).

In der Wurzel dieser schon durch ihre Starrheit Kieselbildungen verrathenden *Podostemon*-Art sind es sowohl der Epidermis angehörige als subepidermal gelegene Zellen, welche verkieselten Inhalt führen. Fig. 17 ist ein Stück Epidermis mit nur verkieselten Zellen von der Fläche gesehen; die unter der Epidermis gelegenen Kieselzellen lassen gewöhnlich je eine unverkieselte Zelle zwischen sich (auf dem Querschnitt Fig. 12). Im Flächenschnitt erscheinen sie meist zu längeren oder kürzeren Zügen vereinigt (Fig. 14), welche unter die lateralen Wände der Epidermiszellen zu liegen kommen, wie man sich durch Combination der Fig. 13 und 14 leicht verständlich machen kann. In den schmalen langgestreckten Blattorganen gehören die Kieselkörper meist dem subepidermalen Gewebe an und gruppiren sich an beiden Rändern, wie es der Querschnitt Fig. 15 illustrirt. Im Stengel dagegen sind es fast ausschliesslich Epidermiszellen deren Inhalt von Aussen nach Innen oft glasklar erstarrt.

Podostemon Galvonis Warmg. (aus Brasilien).

Diese durch die ausserordentlich kurzen, blattscheidenartigen Blättchen ausgezeichnete und durch die reiche Verzweigung ihrer Stengel im Habitus von den anderen in charakteristischer Weise abweichende Art enthält so viele Kieselzellen, dass die ganze Pflanze nach dem Austrocknen kaum ein anderes Aussehen hat,

als im feuchten Zustand. Sie steht dem ganz kieselfreien *Pod. subulatus Gardn.*, welcher bei Wasserverlust zu einer unkenntlichen Masse zusammenschrumpft, diametral gegenüber. Alle Theile von *Pod. Galvonis,* Wurzeln, Stengel und Blätter starren von Kieselzellen. In der Epidermis der Wurzel sind alle Zellen verkieselt; ausserdem fügen sich auf der convexen Oberseite derselben 3—4 Reihen Kieselzellen des subepidermalen Gewebes an, auf der planen Unterseite 1 Reihe, wie Fig. 31 Taf. V schematisch andeutet. Im Stengel ist zwar die Epidermis frei von Kieselkörpern, unter ihr aber liegen 2—4 unterbrochene Schichten solcher. Aehnlich ist es bei den kleinen Blättern, deren Oberhaut ebenfalls ohne Kieselzellen ist, während die erste und zweite subepidermale Schicht fast ausschliesslich aus Zellen mit verkieseltem Inhalt gebildet wird. (Fig. 35 Taf. V.)

Podostemon Mülleri Warmg. (aus Brasilien).

Die ganze Pflanze ist ausserordentlich reich an Kieselbildungen, welche insgesammt verkieselte Zellinhalte darstellen. Ich kann die Angabe *Warming*'s, diese Art enthalte Kieselsäure-Congregationen in den Zellwänden selbst, nicht bestätigen. *Warming* sagt nämlich p. 503 seiner „Études sur la famille des Podostémacées. Troisième mémoire“:

„Jusqu'ici on n'avait pas constaté la présence de la silice dans les parois mêmes des cellules; j'en ai trouvé chez le Podostemon Mülleri (tab. XVII fig. 11. 15). Ces concrétions siliceuses ressemblent aux précédentes par la couleur, la porosité etc., mais elles sont souvent beaucoup plus irrégulières, et sont munies comme de bras qui s'insèrent plus ou moins profondément dans les parois des cellules environnantes. On les trouve aussi avec un développement trés élégant dans les parois des cellules du *Tristicha hypnoides,* à la face supérieure des feuilles, qui ici sont formées d'une couche de cellules. *M. Cario* a bien décrit ces concretions siliceuses, mais il n'a pas remarqué qu'elles se forment dans les parois des cellules.“

Hier liegt ohne Zweifel ein Irrthum vor, den zu berichtigen ich nicht umhin kann. *Cario* hebt nemlich in seiner Arbeit über *Tristicha hypnoides* klar hervor, dass die scheinbar in der Membran liegenden Kieselkörper doch, wie die Entwickelungsgeschichte lehrt, nichts anderes sind, als die verkieselten Inhalte kleiner, durch besondere Wände abgeschnittener Zellchen, welche ich mit

den Rindenzellchen der *Melobesien* vergleichen möchte. *Cario*[1] beschreibt die Entwickelung dieser Gebilde in folgenden Sätzen: „Die Entwickelung dieser Zellchen hebt gewöhnlich an den Blättern des vierten oder fünften Blattumganges unterhalb des Sprossscheitels dadurch an, dass zwischen der Zellaussenwand und der scheitelsichtigen Querwand einiger der Blattspitze naheliegender Zellen schräg verlaufende Wände entstehen, die im Querschnitt dreieckige, in der Flächenansicht meist halbmondförmige Zellchen abschneiden, welche mit Zellkern und dunkler Protoplasmamasse versehen sind. Da diese schrägverlaufenden Wände nur wenig gegen die Aussenwände divergiren, so bleiben die kleinen Zellchen meist sehr unscheinbar und die der Unterseite anliegenden berühren die der Blattoberseite nicht u. s. f. (p. 61)."

Ich habe mich an dem mir zu Gebote stehenden Material von der Richtigkeit der *Cario*'schen Angaben überzeugen können und darnach auch die scheinbaren Membran-Kieselkörper der Blätter von *Podostemon Mülleri Warmg.* auf ihre Genesis untersucht. Auch für sie gilt dasselbe wie für die analogen Gebilde der *Tristicha*, ja dieselben liegen sogar noch tiefer im Gewebe als letztere; sie sind zwischen Epidermiszellen eingelagert und gehören der Epidermis selbst an und stellen in der That nichts Anderes dar als mit Kieselsäure erfüllte Oberhautzellen. Fig. 40 Taf. V ist die Flächenansicht eines Stückes der Blattoberhaut von *Pod. Mülleri* mit den Kieselzellen kk. Fig. 41 ein Stück Blattquerschnitt: die dunkel gehaltenen Zellen sind verkieselt. Fig. 42 stellt einen Theil der Stengelepidermis ebenfalls im Querschnitt dar.

In der Wurzel sind Epidermis- und subepidermale Zellen in grosser Menge verkieselt, und zwar so, dass die Zellen der Oberhaut an der planen Unterseite alle verkieselt und die daneben liegenden Grundgewebszellen zum grossen Theil in 1—2 Schichten Kieselmassen enthalten, während an der convexen Oberseite nur hier und da Kieselzellen in der Epidermis liegen und auch nur in der direkt an die Oberhaut grenzenden Grundgewebsschicht einzelne von solchen auftreten. Interessant ist, dass das centrale Gefässbündel da, wo der Hartbast liegt, lange gefächerte Prosenchymzellen aufweist, deren Theilzellen sämmtlich an der Silicification theilgenommen haben. Fig. 44 bringt diese Verhältnisse auf einem Wurzelquerschnitt schematisch zum Ausdruck. Im

[1] *Cario, R.* Anatom. Untersuchung von *Tristicha hypnoides Spreng.* (Bot. Ztg. 1881. Nr. 2—5.)

Stengel sind in erster Linie Epidermiszellen verkieselt, sodass die Kieselzellen eine Art Netz bilden, dessen Maschen von kieselfreien Zellen ausgefüllt sind. Die Gestalt der Kieselzellen ist hier in charakteristischer Weise variabel. Sie wechselt zwischen den drei in Fig. 43 a b c wiedergegebenen ab, indem die Oberhautzellen sich vor der Verkieselung gar nicht oder durch eine oder zwei Querwände theilen und entweder die ganze Zelle (c) oder nur eine grössere (b) oder kleinere Tochterzelle (a) verkieselt.

Podostemon Schenckei Warmg. (aus Brasilien).

Die Epidermis sowohl der Wurzeln als der Stengel ist frei von Kieselkörpern, welche nur subepidermal auftreten und zwar in der Wurzel an der convexen Seite o Fig. 26 Taf. V meist nur in einer Schicht, an der anderen Seite u dagegen in 2—3 Schichten hintereinander. Ausserdem finden sich überall im Grundgewebe einzelne Kieselzellen verstreut. Im Stengel sieht man nur die erste Schicht unter der Epidermis mit einzelnen Kieselkörpern ausgestattet, den überaus schmalen, haarartigen Blättern fehlen letztere ganz.

Mniopsis Saldanhana Warmg. (aus Brasilien).

Diese der *Mniopsis Glazioviana Warmg.* im Habitus recht ähnliche Art gleicht derselben auch bezüglich der Kieselbildungen, insofern dieselben ausschliesslich der Oberhaut angehören. Den Stengel fand ich ohne Kieselzellen. Die Blätter enthalten solche von der Basis bis zu den äussersten Blattspitzen und zwar in den Thälchen, welche blasig nach aussen vorgewölbte Oberhautzellen zwischen sich lassen. Die Kieselzellen sind bedeutend kleiner als die sie umgebenden, wie aus den Fig. 11 und 12 Taf. V hervorgeht, von denen 11 ein Stück eines Querschnittes, 12 ein Stück Flächenansicht darstellt.

Mniopsis Weddelliana Tul. (aus Brasilien).

Diese *Podostemacee* ist ausserordentlich reich an verkieselten Zellinhalten von verschiedenster Form, weshalb ich von denselben eine ganze Reihe im Bilde wiedergegeben habe. In den Blättern liegen die Kieselzellen in mehr oder weniger geschlossenem, dem Blattrand parallelen Zuge, wie es die Fig. 1 und 2 Taf. V andeuten. In jeder dieser Zellen geht die Bildung der Kieselmasse

von aussen nach innen vor sich, im Centrum ist meist der langgestreckte Zellkern noch deutlich erkennbar. In der Wurzel ist die Vertheilung auf dem Querschnitt (Fig. 9) insofern eine ungleichmässige, als an der convexen Oberseite die Kieselkörper nicht der Epidermis angehören, sondern der ersten oder zweiten subepidermalen Grundgewebsschicht, wogegen sie auf der planen Unterseite in der Oberhaut selbst liegen; daher die Verschiedenheit der Fig. 5a und b, von welchen 5a Zellen der unteren Epidermis, b der oberen darstellen; einzelne wenige Oberhautzellen der Oberseite sind ja freilich auch mit Kieseln erfüllt. In den Fig. 3—8 Taf. V sind Kieselkörper der Wurzelunterseite frei oder noch in der Membran eingeschlossen wiedergegeben. Alle sind nach aussen löcherig-buchtig, nach den Seiten und innen glatt contourirt. Fig. 10 sind Kieselkörper aus dem Blattrand der var. *pusilla* nach *Warming*.

Mniopsis Glazioviana Warmg. (aus Brasilien).

Die Kieselkörper dieser Art gehören fast ausschliesslich der Epidermis an und ähneln denen der Oberhaut von *Mniopsis Weddelliana Warmg.* in auffallender Weise. In subepidermalen Zellen sind sie seltener. In den langen dichotomisch verzweigten Blättern findet man sie nur an der Basis. Wurzelmaterial stand mir leider nicht zur Verfügung. In den Fig. g h i k habe ich Kieselzellen resp. deren Kerne zur Darstellung gebracht.

Mourera aspera (Bong.) Tul. (aus Brasilien).

Diese stattlichste aller mir bekannten *Podostemaceen* producirt decimetergrosse Blätter, von welchen mir Stücke zur Untersuchung vorlagen. Die Blattunterseite ist glatt, während die ganze Oberseite mit kleinen vielzelligen Emergenzen bedeckt ist, welchen die Art den Beinamen *aspera* verdankt. Die Epidermis ist vollkommen frei von Kieselkörpern; dieselben finden sich stets in der ersten oder zweiten Zelllage unter der Oberhaut und zwar immer vereinzelt, niemals zu Gruppen zusammentretend. [Rhizom, Wurzel und Spross habe ich nicht untersuchen können].

Aus den Fig. 36—39 Taf. V ist Gestalt, Beschaffenheit und Lagerung der Kieselkörper, welche nur metamorphosirte Zellinhalte darstellen und niemals der Membran angehören, ersichtlich. Fig. 36. Kieselzelle der Blattunterseite im Blatt-Querschnitt, Fig. 37. dieselbe Kieselzelle von der Fläche gesehen.

Fig. 38. Kieselzelle aus dem Innern des Blattes; diese sind relativ selten. Fig. 39. Längsschnitt durch eine der zahlreichen Emergenzen der Blattoberseite mit den Kieselzellen k k.

Podostemon subulatus Gardn (aus Ostindien und Ceylon),

welches in seinem ganzen Habitus von allen übrigen Arten dieser Gattung wesentlich abweicht, besonders durch die dünnen haarartigen Blätter, ist ganz ohne Kieselkörper in den letzteren und im überaus kurzen Stengel, wogegen spärliche Kieselzellen in der breitbandförmigen Wurzel gefunden werden. Die Zellen besonders der Blattbasen sind reich an Kalkoxalat in tetragonalen Pyramiden und Prismen.

Dicraea rigida (aus Ostindien und Ceylon).

Ist in allen ihren Theilen frei von Kieselbildungen; dagegen finden sich sehr grosse Mengen tetragonaler Krystalle von Kalkoxalat überall, besonders aber in den Blättern; in diesen liegen dieselben in besonderen schmalen verzweigten Zellen, welche mit ihren Armen zwischen die grösseren unverzweigten chlorophyllführenden greifen. Fig. 52 Taf. V stellt ein Stück Blattepidermis dar mit den grossen chlorophyllführenden Zellen c c und den kleineren krystallführenden k k.

Lophogyne arcuifera Tul. et Wedd. (aus Brasilien),

enthält gar keine verkieselten Zellen, wohl aber sind die Membranen mit kohlensaurem Kalk und Kieselsäure incrustirt, was zwar äusserlich nicht sichtbar, aber durch Untersuchung des Skelettes leicht zu ermitteln ist. Auch im Zellinhalt findet sich Kalk an Oxalsäure gebunden in Form monokliner Krystalle häufig vor.

Nach *E. Warming*'s werthvollen Untersuchungen schliessen sich die *Podostemaceen* eng an die *Saxifragineen* an und die Punkte, in welchen sie sich von diesen entfernen, scheinen zurückgeführt werden zu können auf die Anpassung an ihren Standort: felsigen Grund in stark strömenden Gewässern. Steinen fest anhaftend, wächst die Mehrzahl dieser Pflanzen, zeitweilig von fliessendem oft heftig strömenden Wasser bedeckt, zu anderer Zeit, bei niedrigem Wasserstand, ganz ihres feuchten Mediums beraubt und den heissen trocknenden Strahlen der Sonne ausgesetzt. Sie sind im wahrsten Sinne des Wortes Amphibien, diese meist zierlichen

Gewächse, bald vollständig unter Wasser gesetzt, bald wieder ohne auch nur die minimalste Spur dieses Lebenselixires der Unterlage entnehmen zu können.[1] Bedenkt man nun, dass submerse Pflanzen, wie die Erfahrung lehrt, es selten zur Entwickelung fester mechanisch wirkender Gewebe bringen, so dass sie austrocknender Luft ausgesetzt, rasch zu unkenntlichen Gebilden zusammenschrumpfen, welche auch bei erneuter Befeuchtung ihre frühere Gestalt gar nicht oder nur sehr unvollkommen wieder annehmen, so wird man es von vornherein begreiflich finden, dass die *Podostemaceen,* sollen sie die Trockenperiode auch nur eine kurze Zeit lang ertragen oder gar sie überstehen, um bei dem nächsten Wasserzufluss weiter zu wachsen, ganz besondere Einrichtungen besitzen müssen, das schädliche Zusammenfallen ihrer Gewebe zu verhindern. Wenn man weiter berücksichtigt, dass auch in der feuchten Periode das oft mit beträchtlicher Gewalt die Pflänzchen umspülende Wasser eine starke Festigkeit der Vegetationsorgane nöthig macht, wenn nicht ein fortwährendes Zerreissen der letzteren verderbenbringend werden soll, so wird man es begreiflich finden, dass solche *Podostemaceen,* welche in geeigneter Weise ihren Körper festigten, einen relativ sehr günstigen Stand neben den anderen haben mussten, wodurch sie, besonders gut gedeihend, in die Lage kamen, diese vortheilhafte Einrichtung, sie vererbend, allmälig zu steigern. Ich erblicke in der Erzeugung rationell angeordneter verkieselter Zellinhalte ein wirksames Schutzmittel gegen beide Gefahren und es ist die Verkieselung der *Podostemaceen* in mancher Beziehung analog der Kalkcarbonat-Incrustation der Kalkalgen. Das die Pflänzchen umspülende Wasser wird, dauernd mit quarzigen Gesteinen in Berührung, ansehnliche Mengen Kieselsäure gelöst enthalten, welche von den Vegetationsorganen aufgenommen, in bestimmten Zellen erstarrt. Die ganze morphologische Ausbildung typischer *Podostemaceen* ist der beredte Ausdruck einer weitgehenden Anpassung. Das Substrat ist steinhart, ein Eindringen der Wurzel unmöglich, die Wurzel wächst daher einfach auf der Oberfläche des Substrates hin und würde von der ersten besten Welle weggespült werden, hefteten nicht zahlreiche kurze Hapteren dieselbe fest an die

[1] *Kerner* sagt von ihnen: „Sie gehören ausnahmlos dem tropischen Erdgürtel an und finden sich dort im Gerinne der Bäche, angewachsen an Felsenklippen, auf welche das Wasser mit grosser Gewalt schäumend herabstürzt."

Unterlage. In anderen Fällen begegnen wir, wie bei *Terniola* etc. einer breiten haftscheibenartigen Wurzel, die durch Haargebilde gleichsam mit der Felsunterlage verschmelzen. Die Blattorgane sind häufig sehr klein (*Podostemon Mülleri, Galvonis, distichus, Mniopsis scaturiginum, Tristicha hypnoides* etc.) oder aber schmallanzettlich, band- bis haarförmig, so dass sie im Wasser fluthen (*Podostemon subulatus, Glazioviana, Ceratophyllum, Ligea Glaziovii, Apinagia Riedelii, Mniopsis Saldanhana, Dicraea*-Arten, *Castelnavia*-Species etc.), und schon ihrer Form wegen dem Wasser wenig Widerstand entgegensetzen. Auch die abnorm grossen Blätter von *Mourera aspera* lassen, wie *Warming* bereits hervorgehoben hat, auch Einrichtungen erkennen, durch welche sie in den Stand gesetzt werden, leichter der zerstörenden Wirkung der Wellen zu widerstehen. Auch auf die Gestaltung der Fortpflanzungsorgane hat die Lebensweise der *Podostemaceen* eingewirkt und die Formation der Spatha, die Einsenkung der Blüthen, die ausgesprochene Dorsiventralität der Sprosse etc. hervorgerufen. In erster Linie aber ist die Verkieselung der Z llinhalte als eine Anpassungserscheinung aufzufassen und es fragt sich, ob dieselben auch den Anspruch erheben dürfen, das leisten zu können, was man ihnen zudictirt.

Betrachten wir einmal die Wurzeln, so finden wir fast allgemein die Kieselkörper an der Oberseite in dickerer Schicht als an der Unterseite. Ich verweise auf die Einzelbeschreibungen und auf die Figuren 9. 18. 31. 44. Es ist eine Gewölbe-Construction in optima forma! Bei den Blättern sind die Festigungsvorrichtungen vielfach an den Rand verlegt, wie z. B. aus den Fig. 1. 15 etc. hervorgeht. Es würde unvortheilhaft sein, wenn in Blattorganen alle Epidermiszellen Kieselinhalt führten oder in dem subepidermalen Gewebe lückenlose Schichten von Kieselzellen auftreten würden; dieser Fall ist auch sehr selten; immer sind unverkieselte Zellen als „Durchlasszellen" eingefügt; doch auch wenn dieser ungünstige Fall wirklich vorhanden ist, sorgen Zwischenräume zwischen Kieselkern und Zellmembran, welche dann niemals fehlen, für die nöthige Communication, ja es kommt häufig vor, dass von Zellen nur vorher abgeschnittene Theile verkieseln, während die übrigen ihre normalen Funktionen (Assimilation, Stärkespeicherung etc.) beibehalten, so bei *Podostemon Schenkei*, cf. Fig. 27, bei *Podostemon Galvonis*, Fig. 30. In ganz vorzüglicher Weise ist die Arbeitstheilung in der Epidermis von *Po-*

dostemon Mülleri und ähnlichen Arten durchgeführt (Fig. 40), bei welchen ein Theil der Oberhautzellen regelrecht verkieselt (k k), die dazwischen liegenden Zellen aber das Assimilationsgeschäft verrichten, denn letztere sind reich an grossen Chlorophyllkörnern. Aehnlich bei *Tristicha hypnoides, Terniola longipes* (Figg. 46 u. 51), *Mniopsis Saldanhana* (Figg. 11 u. 12) etc. Die grösste Festigung und Aussteifung ist immer da erreicht, wo sich die verkieselten Zellen in ein oder mehreren Schichten netzartig gruppiren, so dass die unverkieselten Zellen die Netzmaschen füllen; bei grösserer Entfernung der Kieselzellen von einander nimmt naturgemäss die Wirksamkeit ab, ist aber immerhin noch zu bemerken. Sehr in die Augen fallend ist der Effect der Kieselzellen beim Trocknen der Pflanzen. Während *Podostemaceen* ohne Kieselkörper wie *Podostemon subulatus, Dicraea rigida, Lophogyne areulifera* u. s. f. beim Austrocknen ihre Gestalt total verlieren und zu unscheinbaren Gebilden zusammenschrumpfen, behalten mit Kieselkörpern reich ausgestattete Arten ihre Form beinahe vollständig bei, so z. B. *Podostemon Mülleri, Galvonis, Mniopsis Weddeliana* etc., andere in geringerem Grade. Die am meisten verkieselte Zellen führenden Wurzeln bleiben bei dem Austrocknungsprocess häufig wie sie sind, ausgenommen, dass eine geringe Volumenabnahme eintritt; fast momentan nehmen bei Wasserzutritt die letztgenannten Pflanzen ihre normale Gestalt und Grösse wieder an, wogegen jene zuerst namhaft gemachten dazu längerer Zeit bedürfen und dann in Folge der Eintrocknung innere Schäden, Zerreissungen etc., in Menge erlitten haben, so dass man an ihrer Fähigkeit, weiter zu wachsen, wohl zweifeln darf.

STEGMATA.

HISTORISCHES.

Was die Geschichte der Stegmata oder Deckzellen betrifft, so ist zu erwähnen, dass sie von *Link*[1] im Jahre 1849 zuerst gesehen wurden, wie aus folgendem Passus seiner Abhandlung hervorgeht:

„Jene Röhren sind verhältnissmässig weit, ohne Querwände,

[1] *Link.* Bot. Ztg. 1849. p. 750.

soviel ich untersucht habe, und in regelmässigen Zwischenräumen stehen elliptische Warzen mit einem Hofe von gleicher Form umgeben. Beim ersten Blicke scheinen sie die gewöhnlichen sogenannten Poren oder hellen Stellen, aber sie stehen deutlich vor der Röhre hervor und sind mit einer dunklen körnigen Masse angefüllt, mehr oder weniger zuweilen gar nicht. Sie stehen auf allen Seiten der Röhre, sowohl nach der Achse als nach der Peripherie des Gliedes. Ich habe sie an allen *Orchideen* gefunden, die ich untersucht habe, niemals aber in den nicht verdickten der *Orchideen,* auch nicht in den Blättern".

Link war nicht im Entferntesten in der Lage, die in Rede stehenden Gebilde anatomisch richtig zu erkennen und ich werde weiter unten darlegen, dass auch seine Angaben über das Vorkommen der Deckzellen nicht richtig waren.

Crüger[1] beobachtete Stegmata in verschiedenen Theilen der bereits im vorigen Capitel angeführten *Moquilea* (dem Cauto s. Canta der Spanier und Indianer) und machte darüber Mittheilungen in seinen „westindischen Fragmenten" aus dem Jahre 1857. Er sagt: „Die Holzbündel, welche die Blattvenen durchziehen, sind von gewissen platten, fast viereckigen Parenchymzellen begleitet, welche in der Asche genau denselben Kieselkern hinterlassen, den wir schon bei den Markstrahl- und Parenchymzellen des Holzes bemerkten. Diese Zellen enthalten in nicht zu alten Blättern auch Stärke." Weiter unten bezieht sich ein Satz auf die Genesis Stegmata-ähnlicher Parenchymzellen der Cauto-Rinde: „Auch bei kurzen Zellen, die zwischen den Gitterzellen vorkommen und welche noch gewöhnlich in einer langen Prosenchymmutterzelle eingeschlossen sind, bemerkt man gewisse Unregelmässigkeiten u. s. f."

Mettenius[2] führte in seiner Abhandlung über die *Hymenophyllaceen* den bereits verwendeten Namen ein, indem er sagt wie folgt: „Die an das oberflächliche Parenchym angrenzenden Zellen des Sklerenchyms haben endlich bei der Mehrzahl der Arten von *Trichomanes* theilweise oder sämmtlich eine Theilung erfahren, durch welche dieselben in Reihen von tafelförmigen quadratischen oder rechteckigen Zellen umgewandelt werden.

---

[1] *Crüger, H.* Westindische Fragmente. (Bot. Ztg. 1857. 17 u. 18 St.)

[2] *Mettenius, G.* Abh. d. math.-phys. Classe der k. sächs. Ges. d. Wiss. Bd. VII. No. II. 1864. p. 419 ff.

Diese Zellen habe ich, da sie stets das Sklerenchym bedecken, insofern sie an der äusseren Grenze desselben von dem Parenchym liegen, als Deckzellen bezeichnet und denselben in Beschreibungen den Namen *Stegmata* beigelegt.

Diese Deckzellen sind stets auf der dem Sklerenchym aufliegenden Wand in eigenthümlicher Weise verdickt und inkrustirt wie später erörtert wird."

Dies die Worte, mit denen *Mettenius* diese Gebilde zum ersten Male charakterisirt.

In § 9, p. 423 schildert er an der Hand von Figuren auf Taf. I. die Entstehung der Deckzellen bei *Tr. Smithii, T. davallioides, T. sinuosum*, durch Theilung von gestreckten Sklerenchymzellen; er giebt an, dass durch Maceration die je in einer solchen Zelle entstandenen Reihen solcher Deckzellen isolirt werden können, wobei sich die mittleren als quadratische oder rechteckige, die obersten und untersten als den zugespitzten Enden der Sklerenchymzelle entsprechend gestaltete Tafeln erweisen. Die Theilung erfolgt schon in den jugendlichsten Theilen des Stammes in geringer Entfernung von dem Vegetationspunkt z. B. *T. Filicula* und ebenso in den jüngsten Theilen der Blätter lange vor Verholzung der Gefässzellen der Nerven, die sie bedecken, weshalb bei Maceration die Trennung so leicht erfolgt.

p. 424—425 bespricht *Mettenius* die Art der Verdickung der Deckzellen; es sind jedoch nach meinen Erfahrungen diese Angaben nicht mehr zutreffend, da ich bei eingehender Untersuchung constatiren konnte, dass die mit Kieselsäure durchtränkten Partien nicht Verdickungen der Membran der Deckzellen sind, sondern frei im Zelllumen liegende Körper. Freilich schmiegen sich dieselben in vielen Fällen, gerade bei *Trichomanes* der Innenwand der Deckzellen so genau an, dass man sie für Membran-Verdickungen halten könnte, allein ein leichter Druck auf die Deckzelle genügt, die Beweglichkeit der Kieselkörper nachzuweisen.

In Bezug auf die Beschaffenheit der Deckzellen bei *Trichomanes* sei auf den Abschnitt „Stegmata der Farne" verwiesen; über die Verbreitung derselben bei den Farnen machte *Mettenius* bereits ausführliche Angaben (p. 426), die der Vollständigkeit wegen hier so kurz als möglich reproducirt werden müssen.

„Bei einigen Baumfarnen aus der Abtheilung der *Cyatheaceen* sind die äussersten Zellen der Sklerenchymscheide der Gefässbündel in Deckzellen abgetheilt, die Krystalldrusen oxalsauren Kalkes ent-

halten; ferner bei *Aspidium deltoideum* ist die Epidermis auf der oberen Seite der Nerven der Blattzipfel in Deckzellen umgewandelt, welche Concretionen von Kieselsäure enthalten. Die Deckzellen fehlen nach *Metteniu s* bei:

Loxsoma

bei allen Arten von *Hymenophyllum* (incl. *H. caespitosum*)

bei *T. reniforme*, *T. § Micro-Trichomanes* (*T. digitatum*, *T. palmatifidum*, *T. dichotomum*).

T. § Craspedoneuron v. d. Bosch

T. § Macro-Trichomanes (*T. Bauerianum*, *T. polyanthes*, *T. apiifolium*).

Bei allen andern Arten von *Trichomanes* werden dieselben als eine constante Erscheinung angetroffen; sie fehlen indess allgemein in den Wurzeln von: *T. pinnatum*, *Javanicum*, *crispum*, *Arbuscula*, *pyxidiferum*, *exsectum*, *diaphanum*;

im Stamm werden sie vermisst bei:

T. saxifragoides, *concinnum*, *capillatum*, und *cavifolium*.

im Stamm dagegen angetroffen bei:

T. pinnatum, *crispum*, *Ankersii*, *venustum*, *minutulum*, *membranaceum*, *pusillum*, *cuspidatum*, *reptans*, *muscoides*, *Krausii*, *Filicula*, *pyxidiferum*, *diaphanum*, *humile*, spärlich bei: *T. tenerum*, *trichoideum*.

reichlich in den Blattstielen von:

T. pinnatum, *elegans*, *Millefolium*.

in geringer Menge in den Blattstielen bei:

T. crispum, *elongatum*, *Hostmannianum*, *diversifrons*, *Smithii*, *trichoideum*, *Arbuscula*.

in der Blattfläche auf der oberen Seite reichlicher als auf der Unterseite bei:

T. Javanicum, *rigidum*, *elongatum*, *longicollum*, *dentatum*, *pumilum*, *macroclados*, *capillatum*, *muscoides*, *pyxidiferum*, *Filicula*, *Milnei*, *caudatum*, *venosum*, *achilleaefolium*, *diversifrons*, *Hostmannianum*, *membranaceum*.

oder nur auf der Oberseite bei:

T. crispum, *Martinsii*, *lucens*, *Arbuscula*, *Singaporianum*, *punctatum*, *davallioides*, *Mougeosii*.

Rosanoff[1] beobachtete später die Stegmata bei einer Anzahl *Palmen (Chamaerops humilis L., Brahea dulcis Mart., Jubaea spectabilis H. B. K., Caryota urens L., Bactris major Jacq., B. infesta Mart., Ceroxylon Klopstockia, Chamaedorea* sp., *Attalea speciosa, Syagrus botryophora Mart., S. excelsa Mart. Phoenix dactylifera L.)*, bei einer grossen Zahl von *Orchideen, Maranta compressa* und *Arundinaria spathiflora*, allein aus der Aeusserung (p. 751): „Bei oberflächlicher Betrachtung machen sie den Eindruck von Auswüchsen der Aussenwand der Bast- oder Holzzellen; dünne Längsschnitte und die Einwirkung verschiedener Reagentien lehren aber sogleich, dass man es hier mit besonderen Kieselsäurekerne enthaltenden Zellen zu thun hat," und aus dem Vergleich der Kieselkörper dieser Stegmata mit den verkieselten Zellstoffzapfen der *Diosmee Galipea macrophylla St. Hil.* folgt, dass *Rosanoff* über die wahre Natur der Stegmata noch ganz im Unklaren war. Er spricht gelegentlich von einer Anheftung des Kieselkörpers, so p. 753. „Andererseits ist es leicht, sich zu überzeugen, dass der Kern auf seiner flachen Seite an die Wand entweder mit seiner ganzen erweiterten Fläche oder wenigstens an einigen Punkten derselben angeheftet ist". Bei dieser Annahme ist es allerdings begreiflich, dass *Rosanoff* eine Analogie zwischen den Gebilden der *Galipea* und den Kieselkörpern seiner Scheidezellen finden konnte, dann aber war es unlogisch, sie mit den von *Crüger* für *„el Cauto"* beschriebenen Kieselbildungen in Beziehung zu setzen, denn letztere sind schon von *Crüger* selbst als einfache Kieselsäure-Ausfüllungen von Zellen verschiedensten anatomischen Charakters erklärt worden.

Ein wesentlicher Fortschritt liegt in *Rosanoff's* Angaben über das Verhalten der Kieselkörper gegen Reagentien. Er constatirte, dass concentrirte Schwefelsäure und *Schulze*'sche Mischung die Kerne unverändert lässt, dass Jod und Schwefelsäure, welche die Wände der Scheidezellen braun oder blau färben, die Kieselkerne nicht tingiren; weiter, dass in Glycerin oder Schwefelsäure diese Concretionen fast unsichtbar werden, wegen ihres jenem der Flüssigkeiten nahezu gleichen Lichtbrechungsvermögens, dass sie in kalter Kalilauge unlöslich, in heisser dagegen leicht löslich sind, und endlich dass sie auf schwarzem Felde des Polarisationsmikroskopes dunkel bleiben.

[1] *Rosanoff*, S. Ueber Kieselsäureablagerungen in einigen Pflanzen. (Bot. Ztg. 1871. No. 44 und 45).

Soweit waren die Stegmata bekannt, als *de Bary* seine „vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane der Phanerogamen und Farne“ herausgab; auf Grund der damals vorliegenden Untersuchungen musste dieser Forscher die Stegmata noch erklären für „Zellen, welche ausgezeichnet sind durch nach verschiedenen Seiten ungleiche Verdickung und partielle Verkieselung ihrer Wände“ und die Kieselkerne selbst noch für verkieselte Membrantheile halten, wie aus mehreren Stellen des *de Bary*'schen Textes hervorgeht. 1877 endlich macht *Pfitzer*[1] in einem kurzen Aufsatz „über das Vorkommen von Kieselsäure bei den Orchideen“ einige Bemerkungen über die Deckzellen dieser Pflanzen und führt an, dass er sie im Gegensatz zu *Link's* Annahme ausser in den Knollen auch in den Blättern mehrerer epiphytischer Orchideen (*Thunia alba Rchbch. Stanhopea oculata Lde, Trichopilia tortilis Ldl., Oncidium leucochilum Batem* u. A.) gefunden habe. An der Hand der Abbildungen von Längs- und Querschnitten durch die Gefässbündel von *Oncidium leucochilum* erläutert er die anatomischen Merkmale dieser Deckzellen, tritt für deren Zellennatur ein wegen der im Jugendstadium in ihnen noch vorhandenen Inhaltsreste und weist auf die unverkennbare Analogie dieser Elemente mit den Kalksalze enthaltenden Zellen an der Aussenfläche der Gefässbündel vieler Pflanzen hin.

Treub[2] erwähnt endlich in einer Mittheilung über Sklerenchym von *Palmen* und *Pandaneen* auch das Vorkommen der Kieselkörper bei *Palmen*, ohne dem bis dahin Bekannten etwas Neues hinzuzufügen.

Seitdem sind, so viel ich weiss, die Stegmata, deren Verbreitung eine überaus grosse und deren Auftreten in den sie enthaltenden Pflanzen immer ein massenhaftes ist, nie wieder Gegenstand der Untersuchung gewesen. Ich habe deshalb diese interessanten Gebilde einem eingehenden Studium unterworfen. Ueber das Vorkommen und die morphologische Erscheinung der Stegmata kann ich ausgebreitete detaillirte Mittheilungen machen. Was ich über die physiologische Rolle, über die Bedeutung der Stegmata im Haushalt der Pflanze, bei den Vorgängen der Ernährung und des Stoffwechsels ausgesprochen habe, wird der Natur der Sache nach zum Theil als hypothetisch, aber nicht als überflüssig erachtet werden müssen.

[1] *Pfitzer*, Flora. 60. Jahrg. 1877. p. 245.

[2] *Treub*, *M.*, Observations sur le Sklérenchyme. Amsterdam. 1877.

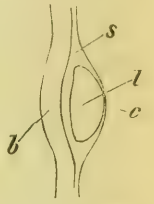
Da mir bei gelegentlichen anatomischen Untersuchungen von *Dicotyledonen* Stegmata niemals aufgefallen waren, habe ich meine Aufmerksamkeit besonders den *Monocotyledonen* und *Kryptogamen* zugewandt. Um jedoch über das Fehlen der Deckzellen bei den zweisamenlappigen Pflanzen sicher zu sein, habe ich auf's Neue eine ganze Reihe derselben untersucht und auf Stegmata geprüft, aber nie solche gefunden. Ich unterlasse es deshalb, alle Familien, Gattungen und Arten, die ich durchmustert habe, aufzuzählen. Bei der mühsamen Durchsuchung der *Monocotylen* erwiesen sich als frei von Stegmata folgende Familien: *Liliaceen (Lilieen, Melanthaceen, Smilaceen) Amaryllidaceen, Juncaceen, Irideen, Haemodoreaceen, Dioscoreaceen, Bromeliaceen, Commelinaceen, Cyclanthaceen, Typhaceen, Araceen (Aroideen, Orontieen, Lemnaceen) Najadeen, Cyperaceen (Cariceen, Scirpeen) Gramineen, Juncagineen, Alismaceen, Hydrocharideen.*

Deckzellen kommen zu den *Palmen, Pandaneen, Scitamineen* (excl. *Zingiberaceen)* und *Orchideen* (excl. *Ophrydeen, Listereen, Arethuseen* und *Cypripedieen)* und zwar enthalten die Deckzellen der *Palmen, Scitamineen* und *Orchideen* Kieselkörper, die der *Pandaneen* dagegen Krystalle von oxalsaurem Kalk.

Von den *Pteridophyten* habe ich auf Deckzellen untersucht und ohne solche gefunden die *Equisetaceen, Lycopodiaceen, Selaginellen* und *Isoëteen.* Von den *Filicinen* entbehren der Deckzellen ganz die *Marsilieen* und *Salvinieen,* von den ächten Farnen schliessen sich an die ebengenannten *Rhizocarpeen* an die *Polypodieen, Cytheaceen, Gleichenieen, Schizaeaceen, Osmundaceen, Marattiaceen* und *Ophioglosseen.* Ich kann die Bemerkung von *Mettenius,* dass gewisse *Cyatheaceen* Stegmata mit Krystalldrusen von oxalsaurem Kalk besitzen, nicht bestätigen, wenigstens nicht für die mir zugänglichen *Alsophila*-Arten. Ob *Aspidium deltoideum* ächte Deckzellen besitzt, habe ich wegen Mangels an Material nicht entscheiden können; sämmtliche von mir untersuchte *Aspidium*-Arten haben sicher keine Deckzellen. Unter den *Hymenophylleen* sind ohne Deckzellen alle Arten von *Hymenophyllum* und die p. 270 namhaft gemachten *Trichomanes*-Arten, wogegen bei allen übrigen *Trichomanes*-Species die Deckzellen eine constante Erscheinung sind.

Was die Entstehung der Stegmata im Allgemeinen betrifft, so ergeben die Untersuchungen ganz jugendlicher Organe, dass dieselben sehr früh angelegt werden; sie entstehen durch Quertheilung prosenchymatischer Zellen, wobei entweder alle Tochterzellen zu

Deckzellen werden oder nicht. Mitunter, so bei *Canna, Phoenix, Musa* etc. werden einzelne der Tochterzellen zu assimilirenden, chlorophyll- und später stärkehaltigen, in anderen Fällen aber verwandeln sich sämmtliche in Deckzellen. Die Membran der Deckzelle verdickt sich und zwar so, dass die Seite, welche der Bastfaser anliegt, am intensivsten in die Dicke wächst, während die gegenüberliegende Seite in der Mitte bleibt, wie sie ist. Nach letzterer hin nimmt die Membrandicke allmälig ab. In den meisten Fällen hat die ganze Deckzelle die Form einer Biconvexlinse und die Verdickung sieht schematisch gezeichnet im Längsschnitt aus wie nebenstehende Figur andeutet:



s die Deckzelle, l deren Lumen, c die unverdickt gebliebene Mitte der Aussenwand, b die Aussenwand der Bastfaser.

Ehe diese Verdickungsmasse sich ausbildet, findet man meist noch viel Plasma und einen relativ grossen Zellkern in jeder Deckzelle, wie dies aus Fig. VI Taf. VI ersichtlich ist; daneben gewahrt man sehr bald ein starklichtbrechendes Kügelchen von bläulich weissem Glanz, der sich bei eingehender Untersuchung als „Kieselkörper" erweist. Er besteht aus reiner amorpher Kieselsäure ohne jede Grundlage von Cellulose. Wäre letztere vorhanden, hätten wir es nur mit stark verkieselter Cellulose zu thun, so müssten sich die Kieselkörper ebenso oder ähnlich verhalten wie die stark verkieselten Membranen z. B. von *Equisetum* etc., was nicht der Fall ist; sie leuchten nicht wie diese im dunkeln Gesichtsfeld des Polarisations-Mikroskopes auf, sie werden durch übermangansaures Kali nicht gebräunt, durch Jod nicht gelb oder braun tingirt, sie quellen nicht bei Behandlung mit concentrirter Schwefelsäure und bei Einwirkung von Fluorwasserstoffsäure bleibt kein Cellulose-Scelett zurück, das mit Chlorzinkjod sich bläut. Der anfangs ziemlich glatte Kieselkörper erhält später oft auf seiner Oberfläche eine verschiedenartige Skulptur, Leisten, halbkugelige Wärzchen etc., wobei er entweder kuglig bleibt oder irgend welche andere Gestalt annimmt. Während er zu seiner definitiven Grösse heranwächst, geht der oben erwähnte partielle Verdickungsprocess der Deckzellenmembran vor sich, so dass schliesslich vom Lumen der Zelle Nichts mehr als ein schmaler Zwischenraum zwischen Kieselkern und Membran übrig bleibt und der vorher leicht bewegliche Kieselkörper in seiner Bewegungsfähigkeit sehr beeinträchtigt wird. Der Inhalt der Deckzellen schwindet meist, jedoch nicht immer; die

Verdickungsmasse bleibt meist unverholzt und hebt sich deshalb nach Anwendung von schwefelsaurem Anilin oder Chlorzinkjod deutlicher von der verholzten Bastfasermembran los. Die Aussenfläche der Stegmata ist allseitig von einer dünnen Cuticula überzogen, die sich auch über die nicht in Stegmata umgewandelten Tochterzellen der Prosenchymfaser wegzieht. Da wo die Deckzellen der Bastfaser anliegen, ist die Wand der letzteren häufig von Poren durchsetzt, welche auf die Innenmembran der Deckzellen, die auch unverdickt bleiben kann, wie bei *Bifrenaria*-Spec. etc.

Die Kieselkörper variiren ausserordentlich in ihrer Gestalt. Neben der reinen Kugelform ist am häufigsten eine niedrige Kegelform und eine dritte, die ich kurz als Hütchengestalt bezeichnen will. Zwischen allen dreien existiren alle möglichen Uebergänge. Ganz unregelmässig gestaltet sind die Kieselkörper bei *Maranta* und bei *Canna; Ravenala* und nahen Verwandten äffen dieselben die Gestalt von Kalkoxalatdrusen so täuschend nach, dass man sich erst durch Reagentien überzeugen muss, dass nicht wirklich solche letztere vorliegen. Ganz glatte Kieselkerne sind relativ selten (*Cattleya Lemoniana, Epidendron nocturneum* etc.), meist sind an irgend einem Theile, besonders bei den kegel- oder hütchenförmigen Kieselkörpern an der nach aussen gewendeten Zuspitzung rundliche Protuberanzen, bei den rein kugelförmigen Kieselkörpern allseitig zu bemerken. Oft ist die Mitte der Zuspitzung kraterartig vertieft, bei einigen Pflanzen endlich füllt der Kieselkörper die ganze Deckzelle aus und ist sozusagen ein innerer Abguss derselben.

Die *Pandaneen* besitzten ächte Deckzellen, aber statt der Kieselkörper in denselben Krystalle von oxalsaurem Kalk. Entstehung, Bau und Placirung sind bei ihnen dieselben wie bei den Deckzellen der *Palmen, Scitamineen* (p. p.) und *Orchideen*.

Bezüglich der Lage der Stegmata lässt sich im Allgemeinen aussagen, dass vielfach Beziehungen zwischen derselben und dem Intercellularsystem deutlich zu erkennen sind, entweder so, dass jedem Intercellularraum zwischen Bastfaser und angrenzendem Parenchym eine Deckzelle angelagert ist, oder dass ganze Reihen von Deckzellen sich da zusammendrängen, wo grössere Zwischenzellräume zwischen Bast und Grundgewebe vorhanden sind. Immer findet man an in geeigneter Richtung geführten Schnitten die dünnen Membranstellen der Stegmata direkt an Intercellularräume

grenzen. Diese Thatsache darf bei dem Versuche, die Function der Stegmata zu ermitteln, nicht unberücksichtigt bleiben; dass eine bestimmte, vielleicht wichtige Function diesen in höchst eigenartiger Weise gebauten und zur Entwickelung gelangenden Elementarorganen, welche in sehr vielen Pflanzen und in eminent grosser Zahl in einer jeden derselben vorkommen, anvertraut ist, kann keinem Zweifel unterliegen. Ehe ich jedoch diesen Versuch zu unternehmen wage, werde ich die Stegmata der *Orchideen*, *Scitamineen*, *Palmen* und *Farne* nach einander einer detailirten Betrachtung unterwerfen.

ORCHIDEEN.

Um mir ein Bild von der Verbreitung und dem systematischen Werth der Stegmata bei den *Orchideen* zu machen, habe ich eine grosse Anzahl Arten dieser Familie aus den verschiedensten Tribus untersucht, nämlich folgende Arten.

Tribus Pleurothalleae: Masdevallia. Liparis cylindrostachys. Coelogyne cristata.

Tribus Dendrobieae: Dendrobium speciosum.

Tribus Epidendreae: Epidendrum nocturneum, equitans, cochleatum. Brassavola cordata. Laelia cinnabarina. Cattleya Lemoniana, crispo-purpurea, Loddigesii, Leptotes, bicolor.

Tribus Vandeae: Vanda tricolor. Ornithidium densum. Maxillaria cucullata. Lycaste xytriophora. Trichocentrum albo-purpureum. Bifrenaria Harrisoni. Stanhopea oculata. Oncidium Limminghei, Papilio. Dichaea echinocarpa. Rodriguezia planifolia. Phalaenopsis grandiflora. Angraecum eburneum. Zygopetalum Mackayi.

Tribus Ophrydeae: Orchis morio, mascula, militaris, fusca. Gymnadenia conopsea, albida. Nigritella nigra. Platanthera bifolia.

Tribus Listereae: Listera ovata. Neottia Nidus avis. Epipactis longifolia, latifolia.

Tribus Arethuseae: Vanilla planifolia. Cephalanthera rubra, ensifolia, pallens.

Tribus Cypripedieae: Cypripedium villosum, barbatum, Spicerianum.

Habe ich mich auch zunächst damit begnügen müssen, immer nur wenige Vertreter jeder Tribus anatomisch zu studiren, so glaube ich doch schon aus den erhaltenen Resultaten einige Schlüsse von Werth ziehen zu dürfen. Bau und Form der Stegmata sind für die Art constant, nicht aber deren Grösse, welche zwischen ziemlich weiten Grenzen schwanken kann. Ob die Beschaffenheit der Deckzellen für die Gattung constant sei, wage ich noch nicht zu behaupten, weitere von mir demnächst auszuführende Untersuchungen werden darüber Auskunft geben. Innerhalb der verschiedenen Gattungen einer Tribus herrschen jedenfalls himmelweite Differenzen in Form und Auftreten der Deckzellen und ihrer Kieselkerne. Nur das gänzliche Fehlen der Deckzellen scheint für ganze Tribus constant zu sein, so fand ich bei keiner *Ophrydee, Cypripedice, Listeree* und keiner *Arethusee* diese Gebilde.

Die Deckzellen der *Orchideen* haben durchgehends von der Fläche gesehen entweder Ellipsen- oder Kreisform, von der Seite gesehen die Gestalt einer mehr oder weniger symmetrischen, durchschnittenen Biconvexlinse, seltener drückt der Kieselkern ihnen eine andere Form auf. Die von der Bastfaser abgekehrte Wand der Deckzelle bleibt in der Mitte stets dünn, die gegenüberliegende verdickt sich in verschiedenem Grade, welche Verdickung auch über die Seitenwände hinwegreicht, um nach und nach zu verschwinden. Die Verdickungsmasse ist meist Cellulose, welche im Alter verholzt. Kieselsäure, welche bei den *Palmen* die Membranen der Deckzellen in intensivster Weise infiltrirt, ist in den Wandungen der Stegmata der *Orchideen* gar nicht oder nur in verschwindend kleinen Mengen vorhanden. Bei manchen *Orchideen* springen die Deckzellen ausserordentlich stark vor, so bei *Maxillaria cucullata, Cattleya crispo-purpurea, Masdevallia spec.* etc., bei anderen weniger und bei *Dendrobium speciosum* erzeugen die einzelnen Deckzellen kaum Vorsprünge auf den Bastfasern, denen sie angeschmiegt sind. Die Grösse der Deckzellen ist ausserordentlich variabel und, wie schon erwähnt, auch für die Art nicht constant, abgesehen davon, dass natürlich jede Deckzelle im Laufe ihrer Entwickelung allmälig an Grösse zunimmt. Dennoch giebt es Arten, welche relativ grosse Deckzellen besitzen, andere bei denen sie immer nur winzige Dimensionen annehmen. Ganz besonders scharf treten diese Grössenunterschiede auf, wenn man die Deckzelle in Beziehung setzt mit dem Querschnitt der Bastfaser (oder der Bastfasern), an die sie grenzt. *Leptotes bicolor* z. B. hat Deck-

zellen, welche auf Querschnitten mehrere Bastfasern gleichzeitig bedecken (Fig. XI Taf. VI), bei *Cattleya crispo-purpurea* dagegen vermag eine Deckzelle meist nicht einmal eine einzige Bastfaser zu überdecken (Fig. XXI); allein auch in dieser Beziehung kommen trotz einer gewissen Regelmässigkeit Schwankungen vor. Die Deckzellen sind Tochterzellen langer ursprünglich sehr dünnwandiger prosenchymatischer Fasern, welche den Bastfasern anliegen. Zwischen je zwei zu Deckzellen sich ausbildenden Tochterzellen liegt eine, die später ihr Lumen ganz einbüsst, wie man am besten aus den Fig. XIV a b und XXV $\beta\,\gamma$ ersehen kann. Dieser Zustand ist übrigens nur in den allerjüngsten Stadien der verschiedenen Organe der betreffenden Pflanzen zu finden; so sind die Fig. XIV a b c d nach Schnitten gezeichnet durch Blätter, deren natürliche Grösse in der Fig. XVII b veranschaulicht worden ist. In den zu Deckzellen werdenden Tochterzellen persistirt der plasmatische Inhalt nebst Kern noch eine geraume Zeit, während Beide in den daneben liegenden Zellen bald schwinden. Bei einzelnen *Orchideen*, wie *Dichaea*-Arten etc., werden alle Tochterzellen zu Deckzellen. Schon sehr früh erscheint neben dem Zellkern die erste Anlage des Kieselkörpers, welcher meist von Anfang an aus reiner Kieselsäure ohne jede Beimengung von organischer Substanz besteht, denn Cellulose-färbende Reagentien lassen ihn farblos, beim Glühen schwärzt er sich nicht etc.

Allmälig wächst der Kieselkörper, indem er seine Gestalt in der verschiedensten Weise ausbildet, zu so stattlicher Grösse heran, dass er das Lumen der Deckzelle beinahe ganz ausfüllt. Zellkern und Plasma sind während der Grössenzunahme des Kieselkörpers verschwunden, die unsymmetrische Verdickung der Deckzellenwand ist vor sich gegangen und die Deckzelle von da ab als todtes Element aufzufassen in demselben Sinne als es die meisten Gefässe und Fasern des Holzes sind. Im fertigen Zustand haben alle Kieselkörper der *Orchideen* Hütchenform mit wenigen Ausnahmen; so sind die von *Dendrobium speciosum* von der Gestalt einer dicken Kreisscheibe (Fig. XXXI Taf. VI) die von *Trichocentrum* von den Formen, wie sie die Fig. XXXII a b wiedergiebt. *Phalaenopsis* und *Vanda* haben kuglige, warzige Kieselkerne, die denen der *Palmen* ungemein ähnlich sind und *Angraecum* kuglige aber nicht so regelrecht mit Warzen besetzte. Man vergleiche die Fig. XXXIV a b Taf. VI *Phalaenopsis grandiflora Lindl.*, Fig. XXX. *Vanda tricolor*, Fig. XXXVI. *Angraecum eburneum.*)

Entsprechend der Form der Deckzelle haben die Kieselkörper, wenn man sie von der der Bastfaser abgewendeten Seite betrachtet, Kreis- oder Ellipsenform. In Fig. II a b c habe ich einen *Orchideen*-Kieselkörper der verbreitetsten elliptischen Form schematisch in a perspectivisch, in b im Längsschnitt und in c im Querschnitt dargestellt; auffallend ist, dass der Rand r r sich nicht ringsum erstreckt, sondern nur nach zwei Seiten, denn sonst müsste er auch auf dem Querschnitt c zum Ausdruck kommen, was nicht der Fall ist. Während die Oberfläche des Kieselkörpers im Grossen und Ganzen glatt zu sein pflegt, trägt das stumpfkonische Ende oft, wenn auch nicht immer, rundliche Wärzchen, wie in den Fig. XV a c und XXIV; seltener ist diese Verzierung allseitig wie wie bei *Masdevallia*-Spec. Die Kerne von *Dendrobium speciosum, Phalaenopsis, Vanda* etc., überhaupt alle kugligen und rundscheibenförmigen Kieselkerne sind regelmässig allseitig mit Warzen besetzt.

Der Kieselkörper ist in der Deckzelle immer so orientirt, dass die breit-scheibenförmige Basis der Bastfaser anliegt, das konisch-stumpfe Ende aber der dünnen Centralpartie der Deckzellenaussenwand; es macht so der Kieselkörper den Eindruck eines Kegelventils, das im Lumen der Deckzelle mit freier, wenn auch beschränkter Beweglichkeit spielt. An der Bastfaserseite lässt die Membran der Deckzellen meist einige einfache Tüpfel erkennen, welche mit solchen der Sklerenchymfaser correspondiren, wie es deutlich in Fig. XV a Taf. VI, eine Deckzelle von *Lycaste xytriophora* mit halbherausgegefallenem Kieselkörper darstellend, zu sehen ist, ebenso in Fig. XII *(Maxillaria cucullata)*. Fig. I Taf. VI ist das etwas idealisirte Bild einer *Orchideen*deckzelle mit Kieselkern, nach einem Präparat von *Epidendron nocturneum* gezeichnet. Weggelassen sind nur die dünne Membran, welche die Oeffnung o o verschliesst, und die feinere Sculptur der Kieselkernoberfläche, damit die Ringwulst-förmige Verdickung der Deckzelle und die Gestalt des Kieselköpers recht klar hervortrete. Diese Grundform findet man mit wenig Ausnahmen in allen *Orchideen*-Deckzellen wieder.

Was nun die Lage der Deckzellen anlangt, so gilt im Allgemeinen die Regel, dass die Deckzellen mit ihren dünnen Membranstellen an Intercellularräume grenzen, und es ist relativ selten der Fall, dass eine Deckzelle von der Membran einer anliegenden Parenchymzelle überdeckt wird. Man muss selbstredend stets

Vertical- und Horizontalschnitt combiniren, um über dieses Verhältniss ins Klare zu kommen, da die Berücksichtigung nur eines Schnittes zu einer abweichenden, aber meist irrigen Ansicht zu verleiden vermag. Diese innige Beziehung der Deckzellen zu dem Intercellularsystem erhellt in evidenter Weise aus den Figg. III. IV α und β, V und vielen anderen derselben Tafel. Fig. III ist ein Längsschnitt durch einen Deckzellenzug im Blatt von *Stanhopea oculata*. An die Bastfaser s k l grenzt der Zug der Stegmata st st, welche die Kieselkörper k k enthalten. Jeder Deckzelle entspricht ein Intercellularraum i zwischen je zwei benachbarten, chlorophyllführenden Parenchymzellen p p. Eine andere Anordnung der Stegmata liegt in Fig IV α und β vor, einem Längs- bez. Querschnitt durch das Blatt von *Bifrenaria Harrisoni*. Hier sehen wir nicht weniger als zweimal sieben Deckzellen an einen grossen Intercellularraum i i liegen, während ober- und unterhalb des Zwischenzellraums i i die Parenchymzellen p p direkt an die Bastfasern s k l sich anschmiegen. Dieselbe Correspondenz ist in eclatanter Weise auch an dem Längsschnitt durch das Blatt von *Cattleya crispo-purpurea* in Fig. V zu ersehen. Hier ist der Intercellularraum i durch einen besonderen Canal c mit der Deckzelle st in Verbindung gesetzt und es macht hier noch mehr als sonstwo den Eindruck, als sei die Beziehung zwischen Deckzelle und Zwischenzellraum von besonderer Bedeutung.

SPECIELLER THEIL.

(Alle Figuren sind auf Tafel VI zu finden.)

Pleurothalleae.

Masdevallia-Spec. (?)

Deckzellen in langen Zügen, dicht an einander grenzend, den Bastfaserbündeln angelagert, nicht eingesenkt, eine oder zwei Fasern zum Theil deckend. Membran wenig verdickt, schwach verkieselt. Kieselkern mit elliptischer Basis und von Brodform. (Fig. XVII und XVIII.)

Liparis cylindrostachys

besitzt keine Stegmata.

Coelogyne cristata.

Ausserordentlich zahlreiche Deckzellen in parallelen Reihen angeordnet von elliptischer Grundform und mit

wenig verdickten Wänden. Kieselkörper von der Form Fig. XX.

Dendrobieae.

Dendrobium speciosum.

Nicht sehr genäherte, wenig hervorspringende Deckzellen mit stark verdickten Wänden. Kieselkörper scheibenförmig, allseitig warzig. (Fig. XXXI.)

Epidendreae.

Epidendrum nocturneum.

Deckzellen in langen Zügen, dicht nebeneinander liegend von länglich elliptischer Gestalt, sehr dickwandig; Zellen zwischen je zwei Deckzellen deutlich erkennbar. Kieselkörper Hütchen-förmig, glatt. (Fig. XXV $\alpha\ \beta\ \gamma$.)

Epidendrum equitans.

Wandungen der Deckzellen, welche tief in die Bastfaser eingesenkt erscheinen, wenig verdickt. Nach aussen hervorragendes Ende des Kieselkörpers wie abgestuzt, fein warzig.

Epidendrum cochleatum,

wie bei *nocturneum,* nur die Stegmata in sehr verschiedenen Abständen von einander.

Brassavola cordata.

Deckzellen und Kieselkörper wie bei der voriger Art.

Laelia cinnabarina.

Stegmata sehr eng aneinander in parallelen Zügen, wenig vorspringend, mit dünnen Wänden, Kieselkörper flach hütchenförmig, fast glatt. Die Tüpfelporen, welche zwischen dem Lumen der Bastfaser und dem der Deckzelle verlaufen, sehr deutlich sichtbar.

Cattleya Lemoniana.

Stegmata in Zügen verschieden weit von einander entfernt, von elliptischer Grundform, mit stark verdickten Wandungen, mittelmässig vorspringend. Kieselkörper hütchenartig, glatt. (Fig. IXX, XX.)

Cattleya crispo-purpurea.

Alles wie bei der vorigen Art, nur dass die Deckzellen stärker vorspringen und das stumpfkegelförmige Ende des Kieselkörpers warzig ist. (Fig. V, XXI, XXII, XXIII.)

Cattleya Loddigesii.

Deckzellen und Kieselkörper wie bei *Cattleya Lemoniana.*

Leptotes bicolor.

Deckzellen wenig vorgewölbt, meist dicht nebeneinander liegend, mit wenig verdickten Wänden. Kieselkörper sehr flach hütchenförmig, fast glatt, ziemlich gross, oft mehrere Bastfasern gleichzeitig deckend. (Fig. VIII, IX, X, XI.)

Vandeae.

Vanda tricolor.

Deckzellen kuglig geformt, eng aneinander liegend, Wände relativ wenig verdickt. Kieselkörper kuglig, allseitig warzig. (Fig. XXX.)

Ornithidium densum.

Deckzellen in Zügen, nicht eng aneinander liegend, spitz vorspringend, Wände unbedeutend verdickt. Kieselkörper Spitzhut-förmig, mit breiter, scheibenförmiger Basis, glatt. (Fig. XXVI a b c.)

Maxillaria cucullata.

Deckzellen stark vorspringend, in Zügen eng aneinanderliegend. Mit nahezu kreisförmiger Grundfläche und stark verdickten Wänden. Kieselkörper hutförmig, glatt. (Fig. VII, VIII.)

Lycaste xytriophora.

Deckzellen stark vorgewölbt, rundlich-elliptisch, Wände ansehnlich verdickt, Kieselkörper hütchenförmig, das stumpfkegelförmige Ende mit rundlichen Warzen besetzt. (Fig. XV a b c, XVI.)

Trichocentrum albo-purpureum.

Stegmata nicht stark vorspringend, von der Fläche gesehen rund-elliptisch, Wände dünn, Kieselkörper sehr feinwarzig und unregelmässig geformt. (Fig. XXXII a b.)

Bifrenaria Harrisoni.

Deckzellen stark vorspringend, meist eine grössere Anzahl hintereinanderliegender an einem langen Intercellularraum. Wände dünn; Stegmata von der Fläche gesehen elliptisch, Kieselkörper hütchenförmig, kegelförmiges Ende meist abgestutzt. Jede Deckzelle nur eine Bastfaser deckend. (Fig. IV $\alpha\ \beta\ \gamma$.)

Stanhopea oculata.

Stegmata mässig vorgewölbt, von elliptischer Grundform, dicht hintereinander liegend, jede Deckzelle mit einem Intercellularraum correspondirend. Kieselkörper hütchenförmig, glatt. (Fig. III und XXVII.)

Oncidium Limminghei.

Alles wie bei der vorigen Art, nur sind die Kieselkörper flacher.

Oncidium Papilio.

Stegmata stärker vorgewölbt, mit rund-elliptischer Grundform, je zwei einen grösseren Zwischenraum zwischen sich lassend, Kieselkörper hütchenförmig, aber spitzer als bei der vorigen Art. (Fig. XXXVII a b.)

Dichaea echinocarpa.

Stegmata mässig vorspringend, nicht zu Zügen angeordnet, dünnwandig, ganz eng aneinanderliegend, von unregelmässiger oft stumpf-viereckiger Grundform. Kieselkörper flach-hütchenförmig am oberen Ende fein-warzig. (Fig. XXVIII und XXIX.)

Rodriguezia planifolia.

Deckzellen mässig gewölbt, von nahezu runder Grundform, mit wenig verdickten Wänden, in Zügen dicht nebeneinander angeordnet. Kieselkörper flach-hutförmig glatt.

Phalaenopsis grandiflora.

Stegmata kuglig, dünnwandig, sehr stark vorspringend, meist in kleinen Gruppen von 2—4 vereinigt, zwischen welchen die Deckzellen fehlen. Kieselkörper warzige Kugeln. (Fig. XXXIV a b.)

Angraecum eburneum.

Stegmata wie bei *Phalaenopsis grandiflora,* nur etwas grösser. Die Kieselkörper im Allgemeinen kuglig, mit feinkörniger Oberfläche und von schwammig-poröser Struktur. (Fig. XXXVI.)

Zygopetalum Mackayi.

Stegmata in Gruppen, eng aneinanderliegend, fast kreisrund, stark vorspringend, gross, nämlich 2—3 Bastfasern gleichzeitig deckend. Kieselkörper konisch, am spitzen Ende mit feinen Wärzchen verziert. (Fig. XXXXII a b c.)

Sämmtliche vorn angeführte *Ophrydeen* sind ohne Deckzellen, ebenso alle von mir untersuchten *Listereen*, *Arethuseen* und *Cypripedieen*.

SCITAMINEEN.

Die kurze Angabe *de Bary's* über das Auftreten kleiner, wahrscheinlich im Bau von denen der *Palmen* und *Orchideen* abweichender Deckzellen in der Blattlamina von *Maranta*, *Heliconia* und *Thalia* veranlasste mich, die *Scitamineen* in ihren hauptsächlichsten Vertretern auf diese Gebilde hin näher zu untersuchen, weshalb ich folgende Gattungen in den mir zur Verfügung stehenden Arten einer anatomischen Durchmusterung unterworfen habe:

Scitamineae.

A. *Musaceae.*
   1. *Heliconia.*
   2. *Musa.*
   3. *Strelitzia.*
   4. *Ravenala.*

B. *Zingiberaceae.*
   1. *Zingiber.*
   2. *Curcuma.*
   3. *Kaempferia*
   4. *Amomum.*
   5. *Elettaria.*
   6. *Hedychium.*
   7. *Alpinia.*
   8. *Costus.*

C. *Marantaceae.*
   1. *Maranta.*
   2. *Phrynium.*
   3. *Canna.*

Die Untersuchung ergab nun das wichtige Resultat, dass die *Zingiberaceen* in ihrer Gesammtheit der Stegmata entbehren, dass letztere aber sich finden bei den *Musaceen* und *Marantaceen*, in diesen beiden Familien aber eine merkwürdige Variabilität besitzen. *Musa* und *Heliconia* bilden ausserordentlich zahlreiche, in langen Reihen die Hartbastbündel begleitende Stegmata aus, in denen fast der ganze Inhalt bis auf einen kleinen meist kugligen, bei *Heliconia* anders gestalteten Hohlraum zu fester Kieselsäure er-

starrt. *Ravenala* und *Strelitzia* weichen weit von *Musa* und *Heliconia* ab, stimmen aber untereinander bezüglich der Deckzellen auffallend überein. Bei beiden Gattungen sind die den Bastfasern angelagerten Deckzellen kaum von den gewöhnlichen Parenchymzellen verschieden, enthalten aber je einen morgensternartig geformten Kieselkörper, der seiner äusseren Erscheinung nach leicht mit einer Kalkoxalatdruse verwechselt werden kann. Diesen Gattungen schliesst sich nun direkt eine der *Marantaceen* an, nämlich *Canna*, bei der in lange Reihen formirenden dünnwandigen Deckzellen eben solche drusenartige spitzstachliche Kieselkörper zur Ausscheidung kommen. *Maranta* und *Phrynium* nähern sich, was die Deckzellen anlangt, ausserordentlich den *Orchideen*, besonders *Maranta gracilis*, welches hütchenförmige Kieselkörper in Deckzellen mit verdickten Wänden hat, die eine auffallende Aehnlichkeit mit denen der *Orchideen* documentiren.

Ich sagte oben, den *Zingiberaceen* fehlten die Stegmata; dabei habe ich zu erwähnen, dass bei *Alpinia*-Arten noch sozusagen Reste dieser Gebilde sich erhalten haben, aber auch nicht bei allen Arten. *Alpinia nutans* und *A. mutica* besitzen noch Deckzellen, welche ihre Hartbastbündel bekleiden, von denen jede neben Kern und Plasma eine Menge kleiner rundlicher Kieselkörnchen enthält. Die Deckzellen sind dünnwandig und liegen den Bastfasern, welche in ihrer Form durch sie beeinflusst sind, in langen Reihen an. Fig. 16 Taf. VII stellt eine Deckzellenreihe von *Alpinia nutans*, Fig. 17 Taf. VII eine einzelne Deckzelle von *Alpinia mutica* dar. Bei anderen *Alpinia*-Arten und bei solchen von *Zingiber*, *Curcuma*, *Kaempferia*, *Amomum*, *Elettaria*, *Hedychium* und *Costus* konnte ich keine Stegmata, statt deren z. Th. Krystallzellen entdecken.

In der Ausbildung der Stegmata und ganz besonders der Kieselkörper machen sich ganz auffallende Unterschiede bei den einzelnen Gattungen bemerkbar. So sind die Kieselkörper der Gattungen *Musa* und *Heliconia* von denen aller anderen *Musaceen* und *Scitamineen* weit verschieden; sie ähneln am meisten den bei *Hymenophyllaceen* beobachteten; der Kieselkörper füllt nämlich die ganze Deckzelle bis auf einen kleinen Hohlraum vollständig aus, ist demnach unbeweglich und alle Kieselkörper stehen gleichsam in einem festem Verbande miteinander. Der ebenerwähnte Hohlraum enthält Plasmareste und den Zellkern, alles merkwürdiger Weise genau wie bei genannten Farnen. Die Form der Kieselkörper kann man am besten aus den Skeletten ersehen, die beim

Glühen mit Schwefelsäure zurückbleiben. Fig. 5 Taf. VII sind solche von *Musa Ensete*. Wie sie in der Pflanze gelagert sind und auf zweckmässig geführten Schnitten erscheinen, vergegenwärtigen die Fig. 2, 3, 6, 7, 8 und 9. Nicht alle Tochterzellen der prosenchymatischen, den Bastfasern anliegenden Zelle stellen Deckzellen dar, einzelne bilden sich zu gewöhnlichen chlorophyllhaltigen Parenchymzellen aus (p, p, p in Fig. 2 und 3). Mit Chlorzinkjod färben sich die Nucleoli der Zellkerne intensiv braun, die Kieselkörper bleiben farblos (Fig. 2 unter dem horizontalen Strich). Besonders stark entwickelt sind die Kieselkerne von *Musa paradisiaca*, (Fig. 4, Taf. VII im Profil) während die von *Musa zebrina* und *Ensete* im Profil schlanker erscheinen und jene eine charakteristische plötzliche Hervorhebung der Mitte zeigen. Fig. 1 Taf. VII vergegenwärtigt einen Deckzellenzug aus dem Blattstiel von *Musa zebrina* im Profil gesehen. k k Kieselkörper, b b Bastfaser, p p Parenchymzellen. Fig. 9 und 10 sind Züge von Deckzellen von der Fläche gesehen, erstere von *Musa Ensete*, letztere von *M. zebrina*. Aus den Fig. 6, 7 und 8 geht hervor, dass entweder die Deckzellen klein und schmal sind und einer einzelnen grossen Bastfaser anliegen (b), oder dass mehrere Bastfasern (drei in 7, vier in 8) von einer Deckzellenreihe bedeckt werden. Auf Längsschnitten sieht man oft lange Intercellularräume (J J, Fig. 11) an die Deckzellen angrenzen.

Die Deckzellen von *Heliconia*, welche auf Längsschnitten denen von *Musa Ensete* und *zebrina* einigermassen ähneln, erweisen sich bei genauerer Untersuchung als gestaltlich wesentlich abweichend, besonders wenn man dieselben von der Fläche aus betrachtet, wie aus den auf *Heliconia metallica* bezüglichen Figuren 29 und 30, Taf. VII erhellt. Zwar füllen auch hier die Kieselkörper die Deckzellen bis auf einen in der Mitte gelegenen, mit Plasmaresten, Kern etc. erfüllten Hohlraum aus, dieser ist aber nicht kuglig, sondern erscheint im Längsschnitt mehr elliptisch, in der Flächenansicht häufig wie ein Viereck, dessen Seiten man sich gekrümmt zu denken hat, und zwar zwei gegenüberliegende convex nach aussen, die zwei anderen convex nach innen, so dass die Deckzellen auf Tangentialschnitten das eigenthümliche Bild der Fig. 30 liefern. Das ganz absonderliche Ansehen wird noch dadurch gesteigert, dass die Deckzellen durch kleine zapfenartige Vorsprünge der Bastfaseraussenseite, die in correspondirende Vertiefungen der anliegenden Deckzellenwände eingreifen, wie verzahnt mit den Bastfasern sind. Diese Verzahnung lässt auf dem Längsschnitt die Innen-

contour der Deckzellen gewellt erscheinen und bringt in der Flächenansicht kleine Kreischen z z z, die Umrisse der einzelnen Zähnchen, zum Vorschein; die die einzelnen Deckzellen von einander trennenden Seitenwände s s werden in der Flächenansicht nur bei etwas tieferer Einstellung bei s, s, s, sichtbar. n n in beiden Figuren die in den Luminibus der Deckzellen liegenden Zellkerne. Die Membran der gefächerten Blattfaser b b, welcher die Stegmata anliegen, ist auf der Aussenseite wellig gebogen, auf der Innenseite dagegen gerade verlaufend.

Ohne Zweifel deutet die Ausbildung der Stegmata und Kieselkörper auf eine nahe Verwandtschaft zwischen den Gattungen *Musa* und *Heliconia* hin.

Strelitzia und *Ravenala* (Fig. 12, 13, 14 und 15, Taf. VII) schliessen sich bezüglich der Ausbildung ihrer Deckzellen eng aneinander. Bei beiden sind dieselben von den Parenchymzellen nur durch ihre mehr tafelförmige Gestalt und den charakteristischen drusenförmigen Kieselkörper unterschieden. Die Membranen der Deckzellen sind nicht mehr verdickt als die der angrenzenden Parenchymzellen. Die Deckzellen liegen immer an mehreren der gefächerten Bastfasern gleichzeitig an, wie Fig. 15 ein Querschnitt durch ein Bastbündel von *Ravenala madagascariensis* vergegenwärtigt. Fig. 13 ist ein Längsschnitt, Fig 14 das Skelett des Kieselkörpers derselben Pflanze. Fig. 12 eine Deckzelle von *Strelitzia regina*.

Von den *Marantaceen* nähert sich *Canna Strelitzia* und *Ravenala* am meisten, *Maranta* und *Phrynium* dagegen den *Palmen* und *Orchideen* durch ihre beweglichen hütchenförmigen Kieselkörper. Die Arten von *Canna* haben morgensternförmige massive, nicht hohle (wie bei *Ravenala madagascariensis*) Kieselkörper in dünnwandigen, kugeligen Deckzellen (Fig. 27 und 28 a b von *Canna indica*, Fig. 31 a b c von *Canna iridiflora*), welche mehreren Bastfasern gleichzeitig anliegen. (28ª.) *Maranta* und *Phrynium* haben grosse hütchenartige, aber oft auch ganz abweichend gestaltete Kieselkörper, die in stark verdickten Deckzellen liegen und zwar greift bei *Maranta* der obere Rand der Verdickungsmasse über den unteren Rand des Kieselkerns weg, was bei *Phrynium* weniger der Fall zu sein pflegt. Die Figuren 18—21 und 25 beziehen sich auf *Maranta gracilis* und ihre Bedeutung ist nach dem bisher Gesagten ohne Weiteres klar, 22—24ᶜ Taf. VII sind nach Präparaten von *Maranta zebrina* gezeichnet. Fig. 21 ist

ein Kieselkern von *Maranta gracilis*, von der Fläche gesehen, der durch Druck auf das Deckglas in vier Stücke zerlegt wurde; Fig. 25 ist eine Gruppe von Kieselskeletten, von denen nur das erste die Hütchenform zeigt, während alle übrigen mehr oder weniger abweichende Gestalten haben, allein die erste prävalirt unbedingt.

Innerhalb der Ordnung der *Spadicifloren* beschränkt sich das Auftreten von Deckzellen auf die beiden Familien der *Palmen* und *Pandanaceen*, den übrigen Familien fehlen diese Elementarorgane, sogar den ausserordentlich nahe verwandten *Cyclanthaceen*.

PANDANACEEN.

Die *Pandanaceen* besitzten ächte Deckzellen, welche von denen der *Palmen*, *Orchideen* und *Scitamineen* nur dadurch abweichen, dass sie keine Kieselkörper, sondern an deren Stelle Solitäre von oxalsaurem Kalk führen. Von den gewöhnlichen Krystallzellen unterscheiden sich die Stegmata der *Pandanaceen* durch die allen übrigen Deckzellen eigenthümliche asymmetrische Verdickungsweise ihrer Membran. Ich untersuchte *Pandanus furcatus*, *utilis*, *Veitchii* und *graminifolius*. In den Fig. 26* a b und 27* a b Taf. VII sind *Pandanus*-Deckzellen abgebildet, und zwar in Fig. 26* a und b Stegmata s s von *Pandanus utilis* im Längsschnitt (a) und von der Fläche gesehen (b), in Fig. 27* a und b im Querschnitt durch einen zusammengesetzten Strang von *P. furcatus* (a) und durch einen einfachen von *Pandanus Veitchii* (d); s s Deckzellen, b f gefächerte Bastfasern. Die Gruppirung der Deckzellen-Reihen an der Peripherie der Bastfaserbündel von *Pandanus furcatus* wird durch Fig. 28* illustrirt, in welcher a a a drei zusammengesetzte, b b einfache Bündel des Blattquerschnittes sind.

PALMEN.

Dass einzelne *Palmen* Stegmata mit Kieselkörpern besitzen, ist durch *Rosanoff*[1] bekannt geworden, wie ich bereits im Allgemeinen Theil über die Stegmata hervorgehoben habe. *Treub*[2] thut der Palmen-Deckzellen gelegentlich der Betrachtung des

[1] *Rosanoff, S.* Ueber Kieselsäureablagerungen in einigen Pflanzen. (Bot. Ztg. 1871. p. 749).

[2] *Treub, M.* Observation sur le Sklérenchyme. Amsterdam. 1877.

Sklerenchyms der Palmen Erwähnung und *Licopoli*[1] beschreibt die Kieseleinschlüsse bei *Chamaerops humilis L.*, allein eingehend und vergleichend sind diese Bildungen innerhalb der grossen Familie der *Palmen* noch nicht untersucht worden. Ich habe deshalb diese Lücke auszufüllen mich bemüht und das mir zur Verfügung stehende lebende Material des Marburger botanischen Gartens bearbeitet und zwar sind folgende Gattungen resp. Arten berücksichtigt worden.

Areceae.	*Chamaedorea (gracilis, Desmoncoides, Caspargana).* *Synechanthus (fibrosus).* *Hyophorbe (indica).* *Areca (aurea, rubra).* *Kentia (Balmoreana, Forsteriana).* *Seaforthia (elegans).* *Caryota (Cumingi).*
Borasseae.	*Latania (bourbonica).*
Corypheae.	*Sabal (Adansoni, Blackburnianum).* *Chamaerops (excelsa, humilis).* *Rhapis (flabelliformis).* *Thrinax (elegans).* *Phoenix (dactylifera, rupestris, pumila).*
Cocoineae	*Cocos (flexuosa).*

ferner:

Gaussia (mexicana).
Pritchardia (filamentosa).
Acanthorhiza (aculeata).

Die Deckzellen der Palmen haben entweder die Form einer Kugel oder einer Biconvexlinse; ihre Wände sind verdickt bis auf die der Bastfaser abgekehrte Seite, welche stets dünn bleibt; erscheinen sie einmal auf Schnitten wie in der auf Tafel VII verzeichneten Fig. 41 allseitig mit gleichmässig dicker Membran, so rührt dies daher, dass der Schnitt in einer mehr oder weniger der zur Bastbündeloberfläche parallelen sich nähernden Richtung geführt wurde (etwa in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung der Fig. 43 Taf. VII). Die Innenseite der Deckzellenwand ist

[1] *Licopoli, G.* Ricerche anatomiche e microchimiche sulla Chamaerops humilis L. et altre Palme. (Atti d. R. Acad. d. Science fis. e. matem. di Napoli. IX. 1881).

selten glatt *(Caryota Cumingi)*, meist grubig. Die Membran ist entweder reine Cellulose *(Sabal Adansoni* etc.*)* oder verholzte oder sehr häufig verkieselte, mitunter combiniren sich letztere beide Incrustationsweisen. Die Deckzellen aller Palmen schliessen Kieselkörper ein, die mit wenig Ausnahmen warzige Oberfläche haben und selten glatt sind. Die Form des Kieselkörpers ist entweder die einer Kugel oder eines Hütchens oder einer runden, in anderen Fällen ellipsoidischen Scheibe.

Sämmtliche untersuchte *Corypheen* haben, mit Ausnahme von *Rhapis*, kuglige Kieselkerne ebenso die *Cocoineen*. Bei den *Areeen* sind alle möglichen Formen vertreten: *Seaforthia* und *Hyophorbe* mit kugligen, *Chamaedorea*, *Synechanthus* und *Caryota* mit hütchenförmigen, *Areca* mit scheibenartigen Kieselkernen. *Kentia* nimmt eine Ausnahmestellung ein, insofern sie zweierlei Arten von Kieselkörpern besitzen, demgemäss auch von einander verschiedene Deckzellen; neben grossen Deckzellen mit kuglig-warzigen Kieselkernen (Fig. 47, 49, Taf VII) treten auch noch kleine mit scheibenförmigen Kernen auf (Fig. 48). Die Kieselkerne der Palmen sind meist massiv, nur die kugelförmigen erscheinen öfters nach dem Glühen mit centraler Höhlung wie die von *Sabal Adansoni* (Fig. 36); sie bestehen meist aus reiner amorpher Kieselsäure ohne jede Grundlage von Cellulose, weshalb sie sich durch kein Färbemittel, durch kein Reagens tingiren lassen und in Fluorwasserstoffsäure ohne sichtbaren Rest lösen. Oft verräth sich freilich eine Spur organischer Substanz beim Glühen durch eine schwache Bräunung, allein es ist nicht unmöglich, dass diese nur äusserlich anhängt.

Die Deckzellen sind durchgängig relativ gross, so dass sie mehrere Bastfasern gleichzeitig bedecken z. B. 2—3 bei *Latania bourbonica* (Fig. 44) *Caryota Cumingi* (Fig. 37 β) *Acanthorhiza aculeata* (Fig. 43) 4—6 bei *Phoenix pumila* (Fig. 43), *Thrinax elegans* (Fig. 50 $\alpha\beta$).

Immer stehen die Deckzellen zu Intercellularräumen in Beziehung, was sehr deutlich aus den Figg. 32, 37, 44, 53 hervorgeht. Doch auch wenn Längsschnitte die Meinung nahe legen, die Deckzelle werde selbst wieder von einer angrenzenden Parenchymzelle vollständig bedeckt, wie z. B. in den Figg. 34, 47 und 52 geschehen mag, lehren durch die Deckzelle geführte Querschnitte, dass ein senkrecht verlaufender Intercellularraum (i i Fig. 43 und 44) vor der Deckzelle ist. Ich habe äusserst selten, bei den meisten Pflanzen niemals, eine Deckzelle durch

eine benachbarte Parenchymzelle überlagert gefunden, so dass man sich des Eindruckes nicht erwehren kann, es spiele diese Correspondenz zwischen Deckzellen und Zwischenzellräumen eine Rolle bei der physiologischen Leistung der Deckzellen, und dass diesen immer massenhaft auftretenden Gebilden eine solche zukommt, ist mir unzweifelhaft. In dieser Ansicht fühle ich mich noch besonders bestärkt durch die rationelle Anordnung der Tüpfel in den Bastzellenwandungen. Die bei weitem grösste Anzahl von Tüpfelsporen der durch Stegmata bedeckten Bastzelle führen auf die Deckzelle zu und werden fortgesetzt durch solche in der Innenwand der Deckzellen selbst. Das zeigt sich besonders auffallend, wenn die Deckzellen weit von einander entfernt liegen wie a. e. in Fig. 37 *a*, wo immer 2—3 Tüpfelkanäle t t t auf die Deckzelle zu gerichtet sind. Bedenkt man nun, dass ausser den gerade in der Ebene des Schnittes gelegenen Tüpfelporen noch über und unter derselben sich solche befinden werden, so gelangt man zu dem Schlusse, dass immer ein ganzes System von Poren die Lumina der Bastzellen und Deckzellen communiciren lässt. Ich werde auf diesen Punkt am Schluss des Capitels über Stegmata zurückkommen.

Die Deckzellen sind nicht auf die Nachbarschaft der zusammengesetzten Bündel beschränkt, sondern begleiten ebenso die einfachen in Wurzeln, Stengeln und Blättern der *Palmen*. Sie werden sehr früh angelegt, ihre Entwickelung gleicht ganz der bei den *Orchideen* beschriebenen.

Chamaedorea gracilis.

Deckzellen in langen Reihen. Wandungen relativ dünn und unverholzt. Sie liegen ebensowohl an einfachen als an zusammengesetzten Bündeln. Kieselkörper haben Hütchenform, der stumpfkegelförmige Vorsprung fein gekörnelt. Die Vertheilung der Stegmata auf einem Querschnitt durch die äussere Partie eines Blattstiels zeigt Fig. 59 Taf. VII.

Ein Kieselkörper ist in Fig. 38 abgebildet.

Chamaedorea Casparyana.

Alles ebenso wie bei voriger Art. Deckzellenmembranen stark verkieselt.

Chamaedorea desmoncoides

wie bei *Ch. Casparyana.*

Synechanthus fibrosus.

Deckzellen wie bei voriger Art. Kieselkörper wenig von denen der *Chamaedorea gracilis* abweichend, wie Fig. 39 erkennen lässt.

Areca aurea.

Stegmata in langen Reihen an einfachen und zusammengesetzten Bündeln. Wandungen stark verdickt. Die warzigen Kieselkerne von Brotform. Zwischen je zwei Deckzellen eine kleine Zwischenzelle.

Figuren 35a und b Taf. VII. a im Längsschnitt, b in der Aussenansicht.

Areca rubra.

Alle Verhältnisse wie bei *Areca aurea.*

Kentia Balmoreana.

Die Gattung *Kentia* hat die Eigenthümlichkeit, Stegmata verschiedener Grösse zu besitzen, kleine brotförmige mehr im Innern und grössere kuglige auf der Aussenseite der dicht am Assimilationsparenchym liegenden gefächerten Bastfasern. Immer sind die Kieselkörper selbst warzig und die Innenwand jeder Deckzelle ebenfalls, so zwar, dass in die Einbuchtungen jener die zapfenförmigen Protuberanzen dieser eingreifen. Die Fig. 47 Taf. VII giebt ein Paar der peripherisch gelegenen grossen Deckzellen wieder von *Kentia Forsteriana*, Fig. 48 eine Reihe kleiner von den mehr im Innern gelegenen Bastbündeln von *Kentia Balmoreana.* Was im Allgemeinen von allen Palmen gilt, ist besonders stark bei den Arten dieser Gattung ausgeprägt, nämlich Neigung der Membranen und Zellinhalte zur Verkieselung. Nicht nur, dass die Deckzellen in allen Theilen ihrer Wände stark verkieseln, auch die Membranen des Strang-, Grund- und Hautgewebes verkieseln stark und zahlreiche Zellen des Grundgewebes verwandeln ihren Inhalt in eine einzige, die ganze Zelle erfüllende Kieselmasse, welche nach dem Glühen etwa die Farbe des Rauchtopases zeigt und stellenweise runde, blasige Hohlräume erkennen lässt. Die Deckzellen beider Gattungen stimmen im allem Wesentlichen überein.

Hypophorbe indica Gaert. (Areca pubescens Bory.)

besitzt kuglig-warzige Kieselkörper. Deckzellenmembran im

Innern ebenfalls warzig. Deckzellen stark vorgewölbt und ziemlich dicht unter einander liegend. (Fig. 20* Taf. VII.)

Seaforthia elegans.

Deckzellen in Reihen, auf Längsschnitten nicht auf die Nähe der Zwischenräume beschränkt. Wandung stark verdickt. Kieselkörper kuglig mit kleinen halbkugligen Protuberanzen nach allen Seiten. Deckzellen liegen dicht nebeneinander, ihre Membranen nach Innen ebenfalls warzig, ihr Durchmesser etwa dem der Bastfaser gleich. (Fig. 34 Taf. VII.)

Caryota Cumingi.

Die relativ sehr grossen Deckzellen sind in Längsreihen geordnet, lassen zwischen einander einen verhältnissmässig grossen Zwischenraum frei und grenzen fast durchgehends an Zwischenzellräume (iii in Fig. 37 *α* Taf. VII). Die grossen Kieselkerne füllen die dünnwandigen Stegmata ganz aus und decken mehrere Bastfasern gleichzeitig, wie aus Fig. 37 *β* hervorgeht. bbb drei Bastfasern im Querschnitt, k der Kieselkern, der wie die beiden Figg. 37 *α* und *β* und die dritte 37 *γ* erkennen lassen, an der Basis einen eigenthümlichen Ringwulst besitzt, dem nach Aussen eine kegelförmige, oben abgestutzte Erhebung, welche noch eine zweite wulstartige Anschwellung trägt, aufsitzt.

Latania bourbonica.

Deckzellen nur an zusammengesetzten Bündeln, in ihrer Lage auf Längsschnitten fast stets an Intercellularräume gebunden. Deckzellenmembran nach innen stark verdickt. Kieselkerne gross, mehrere Bastfasern deckend, in der Form mit denen von *Areca aurea* übereinstimmend, d. h. brotförmig, warzig. (Figg. 44 und 45 Taf. VII.)

Sabal Adansoni.

Deckzellen eng aneinander liegend in Längsreihen geordnet. Innen- und Aussenwand wenig verdickt; jede Deckzelle correspondirt mit einem Zwischenzellraum (iii) des angrenzenden Assimilationsgewebes. Die Kieselkerne sind gross, kuglig, mit regelmässigen halbkugligen Vorsprüngen versehen. Sie sind im Innern hohl oder wenigstens mit kleinen Hohlräumen ausgestattet, in denen bei Lebzeiten organische Substanzen eingeschlossen sind. (Fig. 32 Taf. VII.)

Aus ersterer ist deutlich zu sehen, wie die an die Deckzellenreihe angrenzende Bastfaserwand sich ganz der letzteren anschmiegt und immer da von Poren durchsetzt ist, wo eine Deckzelle ansitzt. Die Fig. 36 stellt 4 durch Glühen mit Schwefelsäure erhaltene Kieselskelette dar.

Sabal Blackburnianum.

Die Unterschiede zwischen dieser und der vorigen Art sind unerheblich und erhellen aus einem Vergleich der Fig. 32 und 33, welche letztere nach einem Längsschnitt durch den Blattstiel von *Sab. Blackburnianum* gezeichnet ist. Hier fallen kleine Intercellularräume zwischen Deckzellen und Bastfaser häufig auf.

Chamaerops excelsa.

Deckzellen ausserordentlich zahlreich, mit stark verdickten Membranen, kugligen Hohlräumen und demgemäss kugligen Kieselkörpern, welche feinwarzige Oberfläche aufweisen. Auch die Innenseite der Deckzellen ist warzig. Deckzellen liegen zumeist dicht untereinander. (Fig. 40.)

Chamaerops humilis
Chamaerops sinensis
} wie bei *Ch. excelsa;* nur dass bei der letzten Art die Deckzellen viel weniger zahlreich sind.

Rhapis flabelliformis.

Kieselkerne brotförmig, warzig (Fig. 55).

Thrinax elegans.

Ausserordentlich dickwandige Stegmata enthalten grosse kuglige Kieselkörper. Auf dem Querschnitt erkennt man, dass einfache und zusammengesetzte Bündel Stegmata tragen. Alles Nähere geht aus den Figg. 50 $\alpha\,\beta$ und 52 von selbst hervor. Die Deckzellenmembranen sind schwach verholzt, die Stegmata sind in die Bastfaserbündel tief eingesenkt und gross, so dass sie 5—6 Bastfasern zugleich anliegen.

Phoenix pumila.

Deckzellen in Längsreihen dicht untereinander mit sehr dicken Membranen, immer, wie der Querschnitt Fig. 43 zeigt, zwischen die Bastfasern bbb eingesenkt, in ihrer Localisation nicht an Zwischenzellräume gebunden. Der Längsschnitt Fig. 41 ist in der Richtung der auf dem Querschnitt punktirt

gezeichneten Linie geführt, weshalb man die auch hier vorhandene dünne Centralpartie der Deckzellen-Aussenmembran nicht sieht.

Nicht alle Tochterzellen der Prosenchymfaser, durch deren Theilung die Deckzellen entstanden sind, werden zu Deckzellen, einzelne bleiben dünnwandig, langgestreckt und führen zeitlebens protoplasmatischen Inhalt, siehe Fig. 42. Kieselkern kuglig-warzig.

Phoenix rupestre
Phoenix canariense
Phoenix dactylifera

alle Verhältnisse im Wesentlichen wie bei *Phoenix pumila.*

Cocos flexuosa.

Deckzellen in Reihen, Zellwände dünnwandig. Kieselkerne kuglig-warzig.

FARNE.

Wie schon in dem geschichtlichen Ueberblick über die Erforschung der Stegmata gesagt ist, sind letztere unter den Farnen nur der Familie der *Hymenophyllaceen* und innerhalb dieser wieder allein der Gattung *Trichomanes* eigen. Um dieses vereinzelte Auftreten sicher festzustellen, habe ich eine sehr grosse Menge von Farnen aus allen möglichen Familien untersucht und kann nur bestätigen, dass die Deckzellen auf die Gattung *Trichomanes* beschränkt sind, in derselben aber eine solche Verbreitung haben, dass nur wenige Arten derselben ganz entbehren.

Durch Bildung zahlreicher Querwände, welche senkrecht, oder wenig geneigt zur Längsachse stehen, werden lange, mässig verdickte Fasern (in Blatt, Stengel und Wurzel) gefächert und in jeder der, von der grössten Fläche gesehen, meist vier- oder dreieckig erscheinenden Tochterzellen kommt ein Kieselkörper zur Ausbildung, welcher sich meist mit breiter Basis der den Sklerenchymfasern zugekehrten Deckzellenwand anschmiegt, so dass ein Längsschnitt durch eine Deckzellenfaser in der Regel aussieht wie der in Fig. 3, 8 Taf. VIII abgebildete. Die Kieselkörper der *Trichomanes*-Arten haben im Allgemeinen Napfform und unterscheiden sich dadurch scharf von denen der *Palmen* und *Orchideen,*

während sie oft eine auffallende Aehnlichkeit mit denen der *Musaceen* bekunden. Immer ist eine Einsenkung der Oberfläche auf der der Bastfaser abgewendeten Seite des Kieselkörper von Halbkugel- oder ähnlicher Form vorhanden, in welcher meist der Zellkern der Deckzelle liegt, wie am besten in den Figg. 4, 8 und 10 zu sehen ist. Von der Fläche gesehen ist der Kieselkörper oft kreisrund oder elliptisch (Figg. 10, 11 e f g, 12 a c d) allein sehr häufig nimmt er auch die Form der Deckzelle an, Fig. 14, oder er ist ganz unregelmässig contourirt; allein auch in letzterem Falle wie bei *Trichomanes radicans,* Fig. 1 a—i, Fig. 2 u. s. f. kann man eine mehr oder weniger gut ausgebildete centrale Höhlung finden, die oft so tief geht, dass der Kieselkörper im Centrum durchlöchert wird (1 f.), oft excentrisch liegt, so dass eine einseitige Spaltung des ringförmigen Kieselkörpers (1 h i) statt hat etc. Mitunter präsentirt sich von aussen (oben) betrachtet der Kieselkörper wie in Fig. 10 b, nämlich als eine elliptische Platte, auf der zwei schliesszellenförmige Leisten 11, die zwischen ihren Enden je einen kleinen Zwischenraum frei lassen, aufgesetzt sind. Der durch die centrale Aushöhlung entstehende obere Rand ist entweder stumpf wie bei Figg. 5, 8, 10 oder zugeschärft wie in den Figg. 1 a—i, 9, 12 a—d. Die Kieselkörper, die bei den *Palmen, Orchideen, Musaceen* etc. eine grosse Regelmässigkeit in der Form zeigen, variiren bei *Trichomanes* nicht nur zwischen den Arten, sondern sogar innerhalb einer Art, innerhalb eines Individuums, innerhalb eines Deckzellenzuges, wie die Figg. 1 und 2 für *Trichomanes radicans,* Fig. 11 a—g für ein javanisches nicht genau bestimmbares *Trichomanes* in genügender Weise darthun. Bei den kesselförmigen Kieselkernen einiger anderer javanischer ebenfalls nicht bestimmter *Trichomanes*-Species ist die convexe Aussenseite mit einer schwammig-warzigen Masse (Fig. 9 und 12 Taf. VIII m m) bedeckt.

Die Membranen der Deckzellen sind in mannigfach verschiedener Weise verdickt oder bleiben überhaupt dünn, wie in Fig. 8, 10, 14. Ist die an der Höhlenöffnung gelegene Wand wenig, alle anderen stark verdickt, so erhalten die Deckzellen wenigstens im Längsschnitt Fig. 3, 9 etc. eine grosse Aehnlichkeit mit denen der *Orchideen.* Es verschmelzen dann oft die Innenmembranen der Deckzellen so mit der der Bastfaser, dass auf Schnitten eine trennende Contour nicht mehr zu bemerken ist (Fig. 3). Ausser dem Zellkern, der, wie schon erwähnt, immer

in der Aushöhlung des Kieselkernes placirt ist, sind häufig noch ansehnliche Plasma-Reste in der Deckzelle vorhanden (Fig. 8 und 9). In solchen Fällen erleichtert Behandlung mit Jodlösung die Orientirung und Unterscheidung ausserordentlich, weil sie den Zellkern gelb bis gelbbraun, die Plasma-Reste gelblich färbt, die Membranen dagegen ungefärbt lässt, ebenso die Kieselkörper, welche in bläulichweiser Farbe schimmern und durch ihre dunklen Contouren das starke Lichtbrechungsvermögen ihrer Substanz verrathen.

Ueber das Vorkommen der Stegmata bei den *Trichomanes*-Arten kann ich den Angaben von *Metten ius,* welche ich p. 270 citirt habe, nichts Wesentliches hinzufügen, da die von mir zur Untersuchung benutzten *Trichomanes*-Species, die Herr Professor *Goebel* von Java mitgebracht hat und die Güte hatte, mir zu überlassen, noch nicht vollkommen sicher bestimmt sind. Bezüglich der Lagerung der Deckzellen sei erwähnt, dass sie in Folge ihrer Entstehung in langen Zügen liegen, welche, da alle Tochterzellen zu Deckzellen werden, nicht durch abweichend ausgebildete Zellen unterbrochen sind (Fig. 13, 14), wie bei den *Orchideen.* Solcher Züge finden sich meist so viele nebeneinander, dass die Gefässbündel vollständig von Deckzellen umscheidet erscheinen. Nur die Gefässbündel-Endigungen sind frei von Deckzellen (Fig. 13). In den sogenannten Scheinnerven mancher *Trichomanes*-Arten, welche auf dem Querschnitt nur aus einer bastfaserähnlichen Sklerenchymzelle bestehen, legen sich die Deckzellen an einer oder zwei Seiten der letzteren an, mitunter nur nach der Ober-, mitunter nach der Unterseite des Blattes zu, in anderen Arten nach beiden Seiten. Alle diese Specialfälle kann man gleichzeitig beobachten an den Scheinnerven von *Trichomanes venustum.* Die Scheinnerven von *Trichomanes Lacostea, Singaporianum, elegans Rich.* und *diversifrons* bestehen merkwürdiger Weise nur aus Deckzellen, die Sklerenchymzellen fehlen ganz.

PHYSIOLOGISCHE FUNKTION DER STEGMATA.

Die Stegmata und vor Allem die in ihnen enthaltenen, wie ich später ausführen werde, auch histologisch höchst interessanten Kieselkörper sind in den verschiedenen Pflanzenfamilien, denen sie eigen sind, so verschiedenartig ausgebildet, dass es von vornherein schwierig erscheinen muss, eine allen gemeinschaftliche Funktion

zu finden. Ich halte mich deshalb zunächst nur an die typischen Formen bei den *Orchideen* und *Palmen* und erkläre dieselben als Ventileinrichtungen, ähnlich den Hoftüpfeln, nur in gewissem Sinne noch feiner construirt und anatomisch vollständig anders zu definiren. Ich betone hier besonders, dass ich davon ausgehe, die wahrscheinliche Wirkungsweise der Stegmata nach ihrer durch die mikroskopische Untersuchung sich darbietenden Construktion zu veranschaulichen, unbekümmert darum, ob diese Wirkungsweise derselben für die Pflanze von Nutzen sein kann oder nicht. Eine typische *Orchideen*-Deckzelle ist sozusagen ein „reciproces Kegelventil", weil der Kieselkörper dem Conus eines solchen Ventils auffallend ähnelt und weil der Verschluss hier gerade in umgekehrtem Sinne als dort stattfindet. In Fig. XXXIX a u. b Taf. IV sind beide Mechanismen nebeneinander gestellt und zwar im Verschlussstadium, a ein gewöhnliches Kegelventil, b eine schematisirte Deckzelle; c ist eine Deckzelle im offenen Zustand.

Ist die Deckzelle in der Situation des Ventils a, so ist ein Verschluss nicht möglich wegen der immer vorhandenen warzen- oder leistenförmigen Protuberanzen an der Aussenseite des Kieselkörpers, zwischen welchen die Flüssigkeit immer ihren Weg findet, um durch die überaus dünne Membran der Aussenseite der Deckzelle in den Intercellularraum zu gelangen. In ganz analoger Weise werden die kugel- und scheibenförmigen Kieselkerne wirken. Es würden demnach die Deckzellen Ventile darstellen, welche einen Flüssigkeitsverkehr zwischen den Hohlräumen der Bastfasern und den Intercellularräumen des jenen anliegenden Parenchyms reguliren. Dass eine solche Communikation beabsichtigt sein muss, geht aus der Häufung der Bastfaser-Tüpfel unter jeder Deckzelle und aus der Correspondenz von Deckzellen und Zwischenzellsystem hervor. Es deutet der ganze Bau der Deckzellen aber weiter darauf hin, dass ein Uebertritt von Wasser aus den Bastfasern in die Intercellularräume des Parenchyms möglichst erleichtert, eine Rückbewegung dieses oder auf andere Art in die Zwischenzellräume gerathenen Wassers in die Bastfasern aber ganz unmöglich gemacht werden soll. Will man nun weiter aus der ganzen Art und Weise, wie diese kleinen Mechanismen in Folge ihres Baues reagiren müssen, einen Nutzen derselben für die Pflanze ableiten, so könnte derselbe allein darin bestehen, dass sie zu Zeiten grosser Bodennässe und erhöhten Wurzeldruckes eine Füllung des Intercellularsystems mit Wasser herbeiführten, ohne die Gefahr einer

Ableitung in umgekehrtem Sinne bei Bodentrockenheit eintreten zu lassen. Es würde, wäre diese Deutung richtig, hierdurch das ganze Intercellularsystem der *Palmen* und *Orchideen* zu einem periodisch verwendeten Wasserreservoir gestempelt werden, zu einem Wasserbehälter, der von unten her sich rasch füllt nach plötzlichem Regen, der langsam sich wieder entleert durch Transpiration aus den oberirdischen Organen, welche bei den *Orchideen* sowohl als bei den *Palmen* durch mancherlei Mittel vor intensiver Wasserabgabe geschützt sind. Die Stegmata wären als kleine Apparate aufzufassen, die in origineller Weise eine temporäre Wasserspeicherung, welche auf andere Weise von vielen hierher gehörigen Pflanzen erstrebt wird, ermöglichen.

Bei den *Musaceen* und *Farnen* haben die Kieselkerne die Beweglichkeit durch zu mächtige Vergrösserung eingebüsst (oder nie besessen), bei den *Marantaceen* ist sie nur noch zum Theile vorhanden und die *Zingiberaceen* endlich besitzen entweder gar keine oder nur sehr kleine, aber zahlreiche, unregelmässig geformte Kieselkerne in den Deckzellen. Ich nehme daher für die Deckzellen der *Musaceen* und *Farne* einen Funktionswechsel an, während ich die der *Marantaceen*, *Zingiberaceen* etc. für rudimentäre resp. reducirte und zur Zeit unnütze Organe betrachte. Die Kieselkerne in den Deckzellen sind, wie vorn genau beschrieben, so gross, dass sie die Lumina der letzteren fast vollständig ausfüllen und deshalb nicht mehr wie Ventilkörper sondern nur noch mechanisch festigend oder den Wasseraustritt aus den Bastfasern resp. trachealen Elementen hindernd wirken können. In der That sind beide Pflanzenfamilien in mancher Beziehung, was ich hier nicht ausführen will, von der Natur stiefmütterlich bedacht, und würden es ohne die Deckzellen noch viel weniger sein, die *Trichomanes*-Arten jedenfalls mangelhaft gegen Austrocknung geschützt, die *Musaceen* ausserdem noch unzureichend gefestigt. Dass wir auch Deckzellen begegnen, denen wir keine bestimmte Funktion zuzuschreiben vermögen, darf uns nicht in Verwunderung setzen, rudimentäre Organe sind nichts Neues in der Organographie.

THEORETISCHES.

Man ist nach den bisherigen Erfahrungen über Verkieselungs-Erfahrungen an der Pflanze geneigt anzunehmen, dass mit der

Verkieselung der Membran niemals neue vorher nicht vorhandene Structur- und Sculptur-Verhältnisse in und an der Zellhaut auftreten, dass Kieselsäureeinlagerung weder Schichtenbildung in der Membran, noch Vorsprungsbildungen irgend welcher Art an deren Oberfläche hervorrufen kann. Darnach würde die Verkieselung ohne lebendige Substanz vor sich gehend gedacht werden können und sich von der Verholzung, Cutinisirung etc. wesentlich unterscheiden, da wir bei den letztgenannten Vorgängen die Mitwirkung lebendigen Plasmas vorauszusetzen gezwungen sind.[1] Sie wäre dann nichts Anderes als eine einfache, auf rein physikalischem Wege vor sich gehende Ausscheidung gelöst eingewanderter Kieselsäure in fester Form zwischen den kleinsten Theilchen der Cellulosemembran. Allein meine Untersuchungen lehren, dass dem nicht so ist. Sowohl die Kieselsäure in den Zellhäuten als die der Kieselkörper im Innern von Zellen verhält sich so, dass wir die Thätigkeit des Protoplasmas bei ihrer Ausscheidung postuliren müssen.

Was zunächst die Kieselsäure in der Membran anlangt, so ist an vorsichtig hergestellten Präparaten deutlich sichtbar, dass sie wohl im Stande ist, durch ihre Einlagerung neue Structureigenthümlichkeiten hervorzurufen. Scheinbar gleichmässig mit Kieselsäure incrustirte Membranen zeigen nach Behandlung mit Chromschwefelsäure, wie die Kieselsäure keineswegs überall gleichmässig eingelagert ist, sondern gewisse Partien bevorzugt, andere gleichsam unberührt lässt. Als Beispiel führe ich die verkieselte Epidermis von *Equisetum* an. Fig. 29 Taf. VIII ist ein Stück Oberhaut von *Equisetum hiemale* nach kurzer Behandlung mit genanntem Reagens, welche eine vorher nicht sichtbare und allein durch die Kieselsäure-Einlagerung hervorgerufene Differenzirung erscheinen lässt. Der Contour ccc trennt die verkieselte, in der Fig. dunkel gehaltene Region von der unverkieselten; jene springt mit feinen Vorsprüngen in diese zwischen den einzelnen Epidermiszellen, deren Lumina mit ll bezeichnet sind, vor. cu ist die relativ dünne verkieselte Cuticula. Dieselbe Aeusserung, welche *Strasburger*[2] betreffs der Cutinisirung von Membranen thut, lässt sich direct auf die Verkieselung übertragen: „es liegt anzunehmen nahe, dass es auch hier lebendige Bestandtheile des Zellleibes sind, welche

[1] *Strasburger, E.* Histologische Beiträge. H. II. p. 133, etc.
[2] *Strasburger.* l. c. p. 133.

in die Membran einwandern, um deren Cutinisirung zu veranlassen." Einwanderung von lebendigem Hyaloplasma findet also nicht nur bei cutinisirenden, verkorkenden und verholzenden Membranen statt, sondern auch bei verkieselnden.

Ein höchst interessantes Verhalten bietet die Kieselsäure in den dem Zellinhalt angehörigen Kieselbildungen dar. So lassen die Kieselkörper der Deckzellen niemals eine Cellulose-Grundlage noch sonst organische Stoffe in nennenswerther Menge erkennen. Sowohl jugendliche wie ältere verhalten sich passiv gegen Reagentien, sie bleiben farblos mit Jodpräparaten (Jodalkohol, Chlorzinkjod etc.), mit schwefelsaurem Anilien, mit *Millon's* Reagens mit Salpetersäure u. s. f., sie hinterlassen nach Behandlung mit Flusssäure keinen organischen Rückstand, sie repräsentiren demnach sicher nicht verkieselte Cellulosekörper, sondern Concremente nahezu reiner Kieselsäure. Ganz ähnlich ist es mit den inneren Kieselbildungen der *Cauto*-Rinde und der *Podostemaceen*. Allerdings sind von diesen viele wohl nur einfache Abgüsse sozusagen des Zelllumens in amorpher Kieselsäure, Abgüsse, denen die Oberflächensculptur entweder von der Membran, oder von noch vorhandenen Inhaltskörpern oder von beiden aufgeprägt wird. Sie wachsen meist centripetal, von der Wand der Zelle nach Innen, oder in umgekehrtem Sinne durch Vergrösserung eines ursprünglich kleinen, frei im Zellraum liegenden Kieselkernes und haben dann so lange unregelmässige Gestalt, bis die Umgebung formend auf sie einwirkt. Aber es sind mir auch bei den *Podostemaceen* Kieselkörper vorgekommen, welche sich denen der Stegmata in allen Stücken analog verhalten, denen die Form nicht nur von Aussen aufgenöthigt sein konnte, sondern als Resultat einer eigenen formbildenden Kraft angesehen werden muss. Für die Kieselkörper der Stegmata ist dies ohne Weiteres klar, denn dieselben bewegen sich häufig zeitlebens frei in der sie beherbergenden Zelle und nehmen oft schon frühzeitig ganz bestimmte, oft für Art oder Gattung constante Gestalten mit den zierlichsten und regelmässigsten Sculpturen an. Wie ich bereits erwähnte, gelingt es nicht, in diesen Kieselkernen Cellulose nachzuweisen, auch nicht Plasma. Entweder ist demnach eine organisirte Grundlage überhaupt nicht vorhanden, oder wir vermögen dieselbe nur nicht nachzuweisen. Im ersten Fall ist es das gesammte Zellplasma, welches Kieselsäure direct plastisch zu verarbeiten vermag, im letzeren ein dem Dermatoplasma der Cellulosemembranen entsprechendes inneres Plasma;

sicher aber ist Plasma beim Aufbau der inneren Kieselkörper betheiligt ebenso wie bei der Verkieselung von Cellulosemembranen und die Verkieselung schliesst sich eng der Cutinisirung, Verkorkung u. s. w. an, nur liegt bei den Kieselkörpern im Zellinnern der interessante Fall einer Ausscheidung reiner Kieselsäure durch das Plasma vor, für welchen wie Analoga bei den cutinisirenden, Verkorkung oder Verholzung hervorrufenden Stoffen nicht kennen.

CAPITEL VII.

FUNKTIONEN DER KIESELSÄURE IN DER PFLANZE.

Die Bedeutung der Kieselsäure für den pflanzlichen Organismus im physiologischen und biologischen Sinne ist, soviel darf aus den zahlreichen Beobachtungen gefolgert werden, eine verschiedenartige und sehr vielseitige.

In Form löslicher Alkali-Silikate oder als lösliches Kieselsäurehydrat gelangt die Kieselsäure aus dem Boden durch die Wurzeln in die Pflanze. Im ersten Falle ist sie das Vehikel für Alkalien in demselben Sinne, wie der Kalk es ist für Salpetersäure, Schwefelsäure und Phosphorsäure, und erweist damit der Pflanze beim Ernährungsgeschäft einen gewiss nicht zu unterschätzenden Dienst, der im zweiten Falle naturgemäss nicht von ihr verrichtet werden kann. Davon, dass sehr viele Pflanzensäfte gelöste Kieselsäure in nicht unbeträchtlichen Quantitäten enthalten, kann man sich leicht überzeugen, wenn man Flusssäure auf jene einwirken lässt und dadurch die Bildung von Kieselfluornatrium resp. Kieselfluorkalium hervorruft, welche Salze bekanntlich an ihren charakteristischen Krystallformen leicht und sicher erkannt werden können. Erforderlich ist es dabei, die Flusssäure selbst auf etwaigen Kieselsäuregehalt zu prüfen und alle Operationen im Bleigefäss vorzunehmen oder auf gefirnisstem Objectträger.

Die Wanderung der Kieselsäure in flüssiger Form ist eine bei verschiedenen Pflanzen ganz verschieden lang dauernde. Oft durchläuft sie den ganzen Organismus und gelangt erst der Hauptmasse nach auf der Oberfläche und in der Oberhaut zur Ausscheidung in fester Form, oder sie wird bereits im Innern der

Pflanze fest. Jedenfalls gewinnt sie mit ihrer Erstarrung eine neue Bedeutung. In die Membranen eingelagert erschwert sie den Wasserdurchgang und setzt die Permeabilität für Lösungen überhaupt herab. Verkieselte Membranen sind in geringem Grade permeabel für Wasser ebenso wie cuticularisirte, verkalkte etc., das lässt sich an Organen mit verkieselten Epidermen leicht nachweisen. Zu derartigen Versuchen fand ich besonders geeignet die Epidermis der Blätter von *Thunbergia laurifolia*. Auch mikroskopisch kann man die verminderte Permeabilität verkieselter Membranen für Flüssigkeiten verschiedenster Art feststellen, wenn man das Eindringen von Farbstofflösungen, von anderweitigen Reagentien und plasmolysirenden Stoffen in verkieselte Zellen vergleicht mit dem in Zellen mit unverkieselten Membranen gleicher Dicke. Wir werden daher in der Membran-Verkieselung ein Mittel erblicken dürfen, die Transpiration herabzusetzen. Eines der im Pflanzenreich verbreitetsten und gewöhnlichsten Mittel zu diesem Zwecke ist ohne Zweifel die Einkleidung der transpirenden Organe in eine dichte Hülle von Haaren. Die Haare werden aber diese Schutzfunktion nur dann verrichten können, wenn sie selbst lufterfüllt sind; sind sie dies nicht, führen sie selbst noch Plasma und Zellsaft, so werden sie im Gegentheil durch die oft immense Oberflächenvergrösserung, welche sie hervorrufen, die Transpiration steigern, sie müssten denn durch die eine besondere Modifikation ihrer Membranen die Durchlässigkeit für Wasser herabsetzen. Letzteres geschieht in der That durch Incrustation mit Kalk, Kieselsäure etc. oder durch Infiltration mit organischen Stoffen überaus häufig. Wir finden daher in verkalkten oder verkieselten Pflanzenhaaren den Zellinhalt meist erhalten, in Bewegung begriffen und in jeder Weise lebendig, welcher der Zersetzung und dem Tode längst anheim gefallen sein würde, wäre eine solche Schutzmaassregel nicht getroffen. Es sind solche Haare Thon- oder Glasgefässen zu vergleichen, deren Wasserdurchlässigkeit sehr gering oder gleich Null ist. (Fig. 51 Taf. III Blasenhaare von *Rochea falcata*.) Sind die Pflanzenhaare nicht auf diese Weise vor Verdunstung geschützt, so geben sie leicht soviel Wasser nach aussen ab, dass die Zufuhr von Innen nicht ausreicht, den Verlust zu decken: das Haar füllt sich mit Luft. Solche Haare vermehren die Oberfläche des betreffenden Organs nicht mehr in schädlicher Weise, bewahren dagegen die Oberhaut vor zu energischer Einwirkung äusserer Factoren und können sogar der Pflanze auch dadurch Vortheil

bieten, dass sie als Saugorgane zu functioniren vermögen und Regen- und Thauwasser von aussenher in die Pflanze aufnehmen, wie es bei einer grossen Anzahl von Pflanzen z. B. *Alfredia-*, *Salvia-*, *Pelargonium-*, *Geranium-*, *Centaurea*-Arten, *Stellaria media* etc. beobachtet ist. Partielle Verholzung der Haar-Membran unterstützt in solchen Fällen die Wasseraufnahmefähigkeit wesentlich.

Eine äusserst wichtige biologische Funktion der Kieselsäure besteht nun weiter darin, durch ihre Einlagerung in die Membran gewisse Pflanzenorgane zu schützen oder zu wirksamen Waffen gegen die feindlichen Angriffe weidender Thiere zu machen. Werden schon Pflanzen mit stark cuticularisirten Membranen z. B. *Rhododendron, Ilex, Vaccinium, Empetrum, Proteaceen, Epacrideen* etc. von den Thieren in auffallender Weise gemieden und nur im äussersten Nothfall angegriffen, so gilt dies in noch viel ausgedehnterem Masse von Pflanzen, deren Epidermen ganz oder theilweise verkieselt sind. *Equiseten* und viele Grasarten (z. B. *Phragmites, Festuca arundinacea, alpestris, Nardus stricta, Carex stricta* etc.) sind durch die Kieselsäureincrustation ihrer Stengel- und Blattepidermiszellen für die meisten Thiere ungeniessbar, sie haben keine Feinde, und wenn unsere Futtergräser mit ihrer relativ geringen Verkieselung der Oberhaut auch von unseren Hausthieren noch gefressen werden, so reicht letztere doch hin, diese Pflanzen gegen den Angriff von Schnecken, Raupen, Insekten etc. zu schützen. *Stahl*[4] führt an geeignetem Orte an, dass die starke Verkieselung und die daraus folgende Ungeniessbarkeit vieler Gräser in Japan noch ein hauptsächliches Hinderniss der Viehzucht bildet. Nach dem Ausspruch desselben Forschers würden „die meisten unserer Gräser ohne die Verkieselung gar nicht existenzfähig sein, da sie wegen ihrer süssen, den Schnecken ganz besonders zusagenden Säfte von diesen und wahrscheinlich vielen anderen omnivoren Thieren ohne weiteres vertilgt würden.“ In der That gelang es *Stahl*, auf experimentellem Wege zu zeigen, wie die verschiedenen Schnecken je nach der Stärke ihrer Fresswerkzeuge unter vorgelegten Gräsern auswählen müssen, wie sie oft nur unverkieselte Partien auszufressen vermögen und die zarten, basalen, noch in Wachsthum begriffenen, unverkieselten Theile der Blätter und Internodien, nachdem dieselben von den sie beschützenden bereits verkieselten Scheiden befreit worden waren, begierig verzehren.

[4] *Stahl, E.* Pflanzen und Schnecken. Jena. 1888. p. 72.

Es sind die Blattscheiden der Gräser nicht nur Stützapparate für den intercalaren Aufbau der Halme[1], sondern zugleich auch Schutzvorrichtungen gegen Thierfrass und als solche von höchster Bedeutung. Aus ihnen treten die Stengel und Blatttheile erst heraus, wenn sie durch Kieselsäureeinlagerung genügend gehärtet und widerstandsfähig geworden sind. Die Widerstandsfähigkeit der Laubmoose gegen die Angriffe von Schnecken ebenfalls auf einen hohen Kieselsäuregehalt der Membranen zurückführen zu wollen (Stahl, Pflanzen und Schnecken. 1888. p. 107), ist unrichtig, da die Membranen der meisten Laubmoose relativ Kieselsäure-arm (aber kalkreich) sind. Die Angaben *Treffner's*[2], auf Grund deren Stahl obige Vermuthung aussprach, kann ich nicht bestätigen. gut gereinigte, von äusserlich anhängenden feinen Quarzkörnchen befreite Moose fand ich immer arm an Kieselsäure. Schon die einfache Verkieselung der gewöhnlichen Epidermiszellen macht also viele Pflanzen immun gegen die Angriffe der Thiere und, wie man leicht beobachten kann, auch gegen die vieler Pilze. Schmarotzerpilze vermögen ihre Keimschläuche nicht durch stark verkieselte Membranen zu senden. Noch weit wirksamer aber wird die Membranverkieselung, wenn sie Trichome, die schon ihrer Form nach oft dolch-, speer- oder harpunenartigen Waffen gleichen, befällt und der zweckmässigen Form auch noch die nöthige Härte und Festigkeit zugesellt. Zwar sind eine sehr grosse Zahl von Vertheidigungswaffen der Pflanzen auch durch Verholzung und Verkalkung gehärtet, allein es fehlt nicht an zahlreichen Beispielen, bei denen die Kieselsäure der Incrustationsstoff ist. Verholzt sind z. B. die Angelborsten der *Opuntien*, die Brennhaare der *Jatropha*-Arten, die Stacheln von *Cacteen*, *Euphorbien*, *Rosen*, *Pandanus*, die Zweigdorne resp. Blattdorne von *Prunus*, *Crataegus*, *Mimosen*, *Berberis*, *Robinia*-, *Caragana*-Arten etc., verkalkt die Stechborsten der *Asperifoliaceen*, *Cucurbitaceen*, *Urticaceen*, *Moreen* etc., die Feilhaare vieler *Cruciferen* etc. Dagegen sind durch Verkieselung gehärtet die zahllosen Widerhäkchen am Rande und an den Riefen der meisten Grasblätter, Häkchen, die wie Sägezähne wirken und ganz erhebliche Wunden erzeugen können, welche

[1] *Haberlandt, G.* Physiologische Pflanzenanatomie. Leipzig. 1884. p. 124.

[2] *Treffner.* Beiträge zur Chemie der Laubmoose. Dissertation. Dorpat. 1881.

aber vor allem weidenden Thieren dadurch überaus lästig und gefährlich werden, dass sie die Bewegung verschluckter oder abgebissener Blattstücke im Maul nach Richtungen hin veranlassen, die dem Thier unwillkommen oder schädlich sind. Oft tragen auch noch die Blattenden der Gräser nadelförmige Kieselspitzen, die den verkieselten Stechborsten vieler Pflanzen ähnlich sind und jeden ersten Angriff von Seiten hungriger Thiere von vornherein abzuschlagen vermögen. Verkieselt sind weiter z. B. die in ihrer Wirkungsweise bekannten Borsten an den Blattkannen von *Sarracenia-* und *Darlingtonia*-Arten etc. Zu den wirksamsten Waffen gehören die verkieselten Brennhaare, welche allein durch die Verkieselung in den Stand gesetzt werden, in der bekannten Weise zu functioniren, indem die Festigkeit für's Einstechen und die Sprödigkeit für das Abbrechen des Köpfchens gleichzeitig durch die Kieselsäure-Incrustation hervorgebracht werden. Auch die einfachen Klimmhaare von Gemshornform sind nicht selten durch Kieselsäure gehärtet, ebenso z. B. die ambossartigen Klimmhaken von *Humulus Lupulus* etc. Kieselsäure-Ausscheidungen werden in demselben Sinne zu wirken vermögen, wie verkieselte Membranen, und die von ihnen überzogenen Organe werden in ähnlichem Grade vor Angriffen aller Art geschützt werden. Da solche äusserliche Ueberzüge aber immer von zahlreichen Rissen durchsetzt sind, kann ich nicht an die Rolle glauben, welche *Wicke* einst den feinen Kieselhäuten zuschrieb, die das Eindringen von Wasser und dadurch das Springen der Rinden beim Gefrieren im Winter verhindern sollten, abgesehen davon, dass ein irgendwie in Betracht kommender Kieselsäure-Ueberzug nur relativ wenigen Rinden eigen ist.

Auch den Inhaltsverkieselungen wird, wenn sie peripherisch gelegene Zellen eines Organes befallen, eine ähnliche Schutzfunction zukommen und Epidermis- und Rindenzellen mit verkieseltem Inhalt stellen, wenn auch nicht gerade häufig, einen in diesem Sinne wirksamen Schutzmantel dar, so z. B. in der *Cauto*-Rinde, die einen wahren Quarzpanzer darstellt, der ohne Zweifel die darunterliegenden Gewebe in ausgezeichneter Weise vor Angriffen aller Art schützt. In anderen Rinden ist, wie *v. Höhnel*[1] bekanntlich nachweisen konnte, Kieselsäure bisweilen in den Suberinlamellen

[1] *v. Höhnel, Fr.* Ueber Kork und verkorkte Gewebe überhaupt. (Sitzber. d. Wiener Akad. 76. Bd. 1877.)

der Korkzellen eingelagert, der Pflanze vermuthlich denselben Dienst leistend. Allein tiefer gelegene Zellen mit in gleicher Weise modificirten Inhalten werden eine solche Rolle nicht zu spielen vermögen, und die Musterung der von mir untersuchten Objekte drängt mich dazu, die physiologische Leistung der im Zellinnern deponirten Kieselsäure in einem anderen Sinne aufzufassen. Wie ich bereits vorn mit wenigen Worten angedeutet habe, tragen Zellen mit verkieselten Inhalten viel dazu bei, bei Wassermangel das Collabiren der Gewebe und ganzer Organe zu reduciren. Dies wird um so mehr der Fall sein, je zahlreicher die betreffenden Zellen und je rationeller sie vertheilt sind, je mehr sie z. B. einen zusammenhängenden Panzer oder ein Netz bilden. Pflanzen wie die *Podostemaceen*, welche der Austrocknungsgefahr in Folge ihres Standortes häufig ausgesetzt sind, werden meines Erachtens grossen Nutzen aus ihren Kieselbildungen in diesem Sinne ziehen können. Es ist leicht, sich davon zu überzeugen, wenn man *Podostemaceen* mit reichlichen Inhaltsverkieselungen neben solchen, denen letztere fehlen, eintrocknen lässt. An jenen verändern alsdann oft weder Wurzeln noch Hapteren, weder Sprosse noch Blätter ihre Form merklich trotz relativ dünner Zellmembranen, während solche Angehörige dieser Familie, welchen die Kieselmassen im Zellinnern ganz abgehen oder bei denen sie wenig zahlreich sind, schon bei geringem Wasserentzug zu kaum wiedererkennbaren unscheinbaren Gebilden zusammenschnurren. Jene sind im Stande, bei erneutem Wasserzufluss ungestört weiter zu vegetiren, während diese in vielen Fällen ihre ursprüngliche Gestalt überhaupt nicht wieder anzunehmen vermögen. Um Wiederholungen zu vermeiden, verweise ich auf die im speciellen Theile über die Kieselkörper der *Podostemaceen* (p. 265) gemachten Mittheilungen, welche auf's deutlichste darlegen, dass auch die Anordnung der Kieselzellen häufig eine in Hinsicht auf die beigelegte Deutung ganz rationelle genannt werden muss; so fügen sich bei einer ganzen Menge von Arten die Kieselzellen zu Gewölbe- oder Hohlcylinder-artigen Constructionen aneinander, welche den eingeschlossenen zarten Geweben einen weitgehenden Schutz gegen Collaps und Druck von Aussen gewähren. Ob auch den Kieselinhalten, welchen wir in vielen *Palmen* begegnen, eine solche Bedeutung beizulegen sei, darüber wage ich nicht zu urtheilen.

Ganz anderer Art ist die Rolle der Kieselsäure, wenn sie in Form beweglicher Kerne von Kugel- oder Hutform innerhalb

der die Bastfasern bekleidenden Stegmata auftritt. Die Beweglichkeit dieser Kieselkerne, ihre Gestalt, die Beschaffenheit der Deckzellenmembran, die regelmässige Tüpfelung der Bastfaser an der Berührungsstelle mit der Deckzelle, die Lage der letzteren überhaupt, alle diese Erscheinungen zusammen genommen lassen mir es mehr als wahrscheinlich erscheinen, dass die Stegmata Ventileinrichtungen darstellen, deren Ventilkörper durch die Kieselkerne repräsentirt werden, wie ich bereits p. 298 mitgetheilt habe. Nur wenn wir die Stegmata in dieser Weise deuten, sind deren obengenannte Eigenthümlichkeiten auf einen Schlag verständlich gemacht, während dieselben im anderen Falle ein vollkommenes Räthsel bleiben würden. Die Tüpfelporen in der Bastfaserwand, die meist in auffallender Weise hinter jeder Deckzelle gehäuft sind, indiciren auf's Deutlichste einen regen Flüssigkeitsaustausch zwischen Deckzelle und Bastfaser, die eminente Zartheit der Deckzellenmembran auf der anderen Seite weist mit gleicher Sicherheit auf einen solchen zwischen Deckzelle und Intercellularsystem hin. Ohne Kieselkörper würden die Stegmata leicht passable Communicationswege für Flüssigkeiten sein zwischen Intercellularen und Bastfasern. Die Kieselkörper sind, soweit beweglich, als Ventilkörper aufzufassen, welche zeitweilig Unterbrechung des Wasserstromes bewirken und zwar, wenn sie die äusserste Lage nach der Bastfaserwand zu einnehmen, welche in jeder anderen Lage dem Wasser einen freien Durchfluss gestatten. Die Besetzung mit allerhand Vorsprüngen ermöglicht auch bei der äussersten von der Bastfaser abgewendeten Lage des Kieselkörpers einen Flüssigkeitsdurchtritt; vielleicht ist er sogar bei dieser Stellung des Kieselkernes, da derselbe wahrscheinlich dehnend auf die dünne Hautstelle der Deckzelle wirkt, am stärksten. Es ist von Interesse, dass der Warzenbesatz bei den hochentwickelten hütchenförmigen Kieselkörpern der *Orchideen* nur an der der dünnen Membranstelle zugekehrten Seite vorhanden, wogegen die den Verschluss besorgende der Bastfaser anliegende Seite glatt ist. Je mehr die Kieselkörper an Grösse zu- oder abnehmen (in Bezug auf die Deckzelle), um so weniger werden sie die bezeichnete Function zu verrichten vermögen. Diesen beiden Extremen begegnen wir einerseits bei den *Musaceen* z. Th. *(Musa, Heliconia)* und den *Farnen*, andererseits bei den *Zingiberaceen (Strelitzia, Ravenala* etc.) und den anderen *Musaceen*, wie aus den früher gegebenen speciellen Mittheilungen hervorgeht. Es liegt nahe, hier einen Functions-

wechsel anzunehmen, genau in dem Sinne, wie man die Ausbildung der oberflächlich gelegenen Zellen in vielen Grashalmen anstatt zu Epidermiszellen zu typischen Bastzellen und ähnliche Erscheinungen als einen solchen auffasst. Zellen, die bei normaler Ausgestaltung recht eigentlich dem Leitungssystem angehören, sind allmälig zu mechanischen Zellen geworden im ersten Falle, während sie zu gewöhnlichen Parenchymzellen (ihrer physiologischen Leistung nach) reducirt worden sind im zweiten. Denn es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, dass die bis auf einen kleinen Raum mit reiner, glasartigharter Kieselsäure erfüllten Deckzellen von *Musa*, *Heliconia*, *Trichomanes* etc. eine hohe mechanische Leistung zu verrichten im Stande sind, wogegen die Stegmata der *Zingiberaceen* mechanisch zum grössten Theil vollkommen bedeutungslos geworden sind.

ANHANG ZUR KIESELSÄURE.

Zu p. 203.

Der Gehalt der Stegmata-führenden *Orchideen* an Kieselsäure beträgt meist gegen 20 p. c. der Reinasche und ist fast ausschliesslich auf die Kieselkörper der Deckzellen zurückzuführen; so ergab die Analyse der Knolle von *Epidendron nocturneum* folgende Zahlen:

angewandt frische Substanz	6,2285 grm.	
Trockensubstanz	0,9786 „	(88,14 p. c. Wasser).
Reinasche	0,0534 „	
darin Kieselsäure	0,0083 =	15,55 p. c. der Reinasche.

etc.

NACHTRÄGLICHE BEMERKUNG.

Zu p. 12.

Der feste Rückstand des Meerwassers besteht nach Angaben, die ich der Güte des Herrn Consul Dr. Ochsenius verdanke, meist aus

folgenden Elementen in der bezeichneten Gruppirung, wenn dieselbe auch naturgemäss nicht als absolut feststehende zu betrachten ist:

Chlornatrium	75,786 %.
Chlormagnesium	9,158 „
Magnesiumsulfat	5,597 „
Calciumsulfat	4,657 „
Bromnatrium	1,184 „
	100,000

und die Zusammensetzung des Wassers des offenen Oceans lässt sich im Allgemeinen durch folgende Zahlen bezeichnen:

Wasser	96,473 %.
feste Stoffe	3,527 %.
	100,000

Das specifische Gewicht beträgt im Mittel 1,0275

Zu p. 66.

Während des Druckes meines Buches wurde mir von Herrn Dr. *Axel Vinge* dessen Abhandlung: Bidrag till kannedomen om ormbunkarnes bladbyggnad. (Akademisk afhandling som med vederbörligt tillstånd för erhållande af filosofisk Doktorsgrad etc. Lund. 1889) freundlichst übersandt, welcher ich folgende zu Seite 66 gehörige Aufzählung Kalkoxalat-führender Farne entnehme:

Pteris laciniata Willd. o. Ghiesbreghtii.

Nephrodium velutinum Hk., Pica Baker.

Asplenium Thwaitesii A. Br. (= lasiopteris Mett.), Aspl. firmum Kze., obtusifolium L., viviparum Presl., bulbiferum Forst., decussatum Sw., Nidus L., furcatum Thbg., lucidum Forst., vulcanicum Blume.

Aspidium trifoliatum Sw., capense Willd.

Davallia strigosa Sw., Novae Zeelandiae Colenso, canariensis Smith., bullata Wallich.

Zu p. 178.

Aus einem Referat über die soeben erschienene russische Abhandlung *W. Palladin's*: Der Einfluss des Sauerstoffs auf den Zerfall der Eiweissstoffe in den Pflanzen. (8° 93 p. Warschau 1889) ersehe ich, dass dieser Gelehrte mit meiner Anschauung betreffs der Bildung der organischen Säuren in der Pflanze vollkommen übereinstimmt. *P.* sagt etwa: „Da der Zerfall der Eiweissstoffe in Kohlehydrat und Asparagin mit einem beträchtlichen Sauerstoffconsum verbunden ist, so müssen bei der Reconstitution des Eiweisses aus diesen beiden Stoffen nothwendigerweise sauerstoffreiche Nebenprodukte sich bilden; dies sind die in wachsenden Pflanzentheilen constant auftretenden organischen Säuren."

Unberücksichtigt musste ich leider folgende Schriften über oxalsauren Kalk, die ich zur Ergänzung des Literatur-Verzeichnisses auf

Seite 166 hier anführe, lassen, weil sie mir entweder gar nicht oder zu spät oder nur in nicht brauchbaren Referaten zugängig wurden:

Baccarini, P. Intorno ad una probabile funzione meccanica dei cristalli di ossalato calcico. (Annuario del R. Istituto Botanico di Roma. Vol. I. 1884. p. 154. 9. tav. XV.)

Acqua, C. Contribuzione allo studio dei cristalli di ossalato di Calcio nelle piante. (Annuario del R. Istituto Botanico di Roma. Vol. III. 1888. p. 109—22.)

Poli, A. L'ossalato die Calcio nelle piante. (Rivista scientifico-industriale. 31 Gennaco. 1889. N. 2. p. 28.)

Dyer, W. T. Thiselton. Note on the imbedding of crystals in the walls of plant-cells. (Quart. Journ. of micr. Sc. vol. XII. 1872. p. 228.)

—— On the structure of the stem of the Screw-pine (Pandanus) (l. c. p. 50.)

Horsley. Some demonstrations of plants crystalls. Raphides, Sphaeraphides and Crystalprisms. (l. c. p. 101.)

——On Raphides of Tamus and Epilobium. (l. c. vol. XIII. 1873. p. 103.)

Dean, Sphaeraphides of Caryophyllaceae. (Silene maritima). (l. c. p. 106.)

Fullagar, Crystal-prisms in the bulb-scales of Allium ascalonicum, Cepa, Porrum and sativum etc. (l. c. p. 216.)

Wright, E. Perceval. Crystal-bearing cells in Pandanus amaryllidifolius. (Quart. Journ. of micr. Sc. Vol. XV. 1875. p. 333.)

Hamlet, W. M. and *Plowright, Chr. B.* On the occurence of oxalic acid in Fungi. (The Chem. News. vol. XXXVI. 1877. p. 93.)

AUTOREN-VERZEICHNISS.

A.

Aé, H. A. 58. 59. 169.
Arbaumont, M. d'. 92.
Askenasy, E. 159.

B.

Bary, de. A 65. 67. 69. 94. 104 116.
Bailey. 168.
Berg. 168.
Berthold, G. 38. 159.
Bidie. 113.
Birner und Lucanus. 4. 198.
Bischoff. 102.
Boehm, J. 3. 169.
Bokorny, Th. 126.
Borodin, J. P. 79. 169. 173.
Boussingault. 2.
Braconnot 99.
Brefeld, O. 68.
Brogniart. 167.
Brooke. 168.
Buchner. 166.

C.

Cadet de Cassincourt. 2.
Calabró, P. 88.
Cario, R. 249. 261.
Chareyre. 140.
Coemans. 65.
Cohn, F. 5. 65. 102. 229.
Contejean, Ch. 66.
Crüger, H. 4. 208. 246. 268.
Cuboni, G. 41. 95.
Currey. 65.

D.

Dalitzsch, M. 87. 195.
Davy, Humphry. 207.
De Candolle, P. 91. 110. 167.
Alph. 167.
Demeter, K. 81.

E.

Emmerling. 173.
Engler. 100

F.

Famintzin, A. 227
Fischer, A. 159.
Fischer, Ed. 69.
Fliche und Grandau. 8.
Flückiger F. A. 168. 170.
Foucroy. 166.
Frank, A B. 59. 70. 72.
Fritsch, K. 195.

G.

Gernet. 35.
Gomont, M. 103.
Grandau und Fliche. 8.
Gravis. A. 114.
Grevillius, A. Y. 43.
Guignard, L. 93.
Gulliver, G. 48. 169.

H.

Haberlandt, G. 235.
Hansen, A. 12. 31. 155. 156. 159. 160.
Hanstein 93. 102. 103.
Hartig, Th. 61. 72.
Hassak, K. 103.
Haushofer. 22.
Hegelmaier. 33. 48.
Heimerl, A. 79.
Heinrich, R. 14.
Heinricher, E. 240.
Higley, W. K. 91. 97.
Hilgers, G. 94. 169. 172.

Hobein, M. 134. 136. 195.
Hochnel, Fr. v., 31. 79. 198.
Hoffmann, H. 8.
Hofmeister, W. 72. 74.
Holzner, G. 52. 169.
Hooker, J. D. 74.
Hovelacque, M. 68.

J.

Jodin, Victor. 198.
John. 2.
Johow. 164.
Jurine. 166.

K.

Kellermann und von Raumer. 169.
Kellner. 173.
Kerner von Marilaun, A. 235. 265.
Kieser. 167.
Klein, J. 64. 65.
Klercker, J. E. 79.
Knop. 3. 4. 7. 198.
Kny, L. 22. 120.
Koch, L. 214.
Koepert, O. 169.
Kolderup-Rosenvinge, L. 155.
Koschewnikow, D. 63.
Kraus, Gr. 48. 60. 161.
Krause, H. 105.
Kühn und Rautenberg. 4. 198.
Kützing. 207. 208.

L.

Ladenburg. 4. 216.
Lange, W. 4. 14. 216.
Lauterbach, C. 171. 195.
Leeuwenhoek, Anton von. 166.
Leitgeb, H. 12. 31. 113. 145. 160.
Lenssen, E. und Souchay, A. 21. 168.
Licopoli, G. 289.
Liebig, J. v. 2. 168.
Link. 166. 267.
Lohde. 48.
Luca und Ubaldini. 174.
Lucanus und Birner. 4. 198.

M.

Malpighi, Marc. 166.
Marktanner-Turneretscher, G. 68.
Marloth, R. 101. 151.
Mattirolo, O. 46.
Mayer, A. 3 7.
Melnikoff, P. 3, 14. 110. 120. 122. 141.
Mentovich, F. v., 77. 81.
Mettenius, G., 99. 100. 249. 268.
Meyen. 105. 115. 167. 207.
Meyer, Ad., 60.
Miliarakis, Sp. 4. 118. 126. 128. 140. 218.
Moebius, M., 29. 32. 194.
Mohl, H. v., 4. 209. 212. 246.
Molisch, H., 47. 70. 76. 113. 114. 118.
Monier. 28.
Monteverde, N. A., 169.
Moore, S. M., 84.
Müller, N. J. C., 72.
Müller, R., 80.

N.

Naegeli, C. v., 7.
Nees von Esenbeck. 167.
Nobbe. 3. 156.

P.

Paschkewitz, W. 67.
Patouillard, N. 69. 71.
Payen. 79. 88. 102. 110. 115. 168. 208.
Penzig, O., 81. 89. 128. 162.
Pfeffer, W., 15. 61. 157.
Pfitzer, E. 38. 70. 76. 88. 169. 244. 272.
Pick, H. 189.
Pierre, J. 214.
Pirotta, R. 37. 57.
Pless. 168.
Ploeg, van der. 169.
Poli, V. A. 38. 89. 169.
Pollender. 224.
Polstorff und Wiegman. 2.
Poulsen. 89.
Pringsheim, N., 103.

Q.

Quecket. 168.

R.

Rafn. 166.
Raspail. 102. 176.
Raulin. 3. 7.
Raumer, von und Kellermann. 169.

Rauner, St. 188.
Rautenberg und Kühn. 4. 198.
Reade. 207.
Regnault. 35.
Richter, C. 117, 119. 120. 121. 137.
Rosanoff, S. 80. 169. 186. 241. 249. 271. 288.
Rostafinski, J. T. 108.
Rothert, W. 47.
Rudolphi. 166.
Rue, de la. 80. 169.
Russow, E., 134.

S.

Sachs, J. v. 1. 3. 4. 38. 119. 121. 197. 213. 214.
Sachsse. 15.
Salm-Horstmar. 3. 7.
Sanio, C. 168. 208.
Saussure, Th. de. 1. 109. 207.
Schacht. 88. 115.
Scheele. 166.
Schenk, H., 70.
Scherffel, A. 105.
Schimper, A. F. W., 43.
Schleiden. 116. 207.
Schmidt, C. 168.
Schmidt, K. 58.
Schmidt, E. E., 168.
Schnitzlein. 208.
Schulze. 173.
Sennebier, J. 1.
Solereder, H. 35. 76. 78. 134. 171. 195. 239.
Solms-Laubach, H. Graf zu. 72. 73. 74. 77. 147. 169.
Sorauer. 59.
Souchay, A. und Lenssen, E. 21. 168.
Sprengel. 2. 167.
Stahl, E. 153. 164.
Stenzel. 105.
Stohmann. 3. 7.
Strasburger, E. 93. 120. 245. 300.
Struve. 207.
Szabo, F. 58.

T.

Tavel, F. von., 46.
Tieghem, van. 38.
Treffner. 305.
Treub, M. 272. 288.
Treviranus, L. Chr. 99. 100. 110. 114. 167.
Tschirch, A. 89. 170.
Turpin. 93.

U.

Ubaldini und Luca. 174.
Unger. 100. 167.

V.

Vallot, J. 66.
Vesque. 21. 28. 34.
Volkens, G., 99. 101. 150.
Vries, H. de., 52. 169.

W.

Wakker, J. H., 39. 82.
Walther. 12.
Warburg. O., 172.
Warming, E., 252.
Wedell. 116.
Wehmer, C. 190.
Weiss, A. 19. 36.
Went, F. A., 39.
Wichmann, H. 113.
Wicke, W. 4. 208. 212. 241.
Wiebel und Zacharias. 102.
Wiegman und Polstorff. 2.
Wiesner, J. 95.
Wilhelm, K. 81.
Winkler, C. 75.
Winogradsky, S. 5.
Wolff, O. 7.
Wolff, E. 53. 198. 217. 241.
Woronin, M. 64. 101.

Y.

Yorke, Col. Phil. 74.

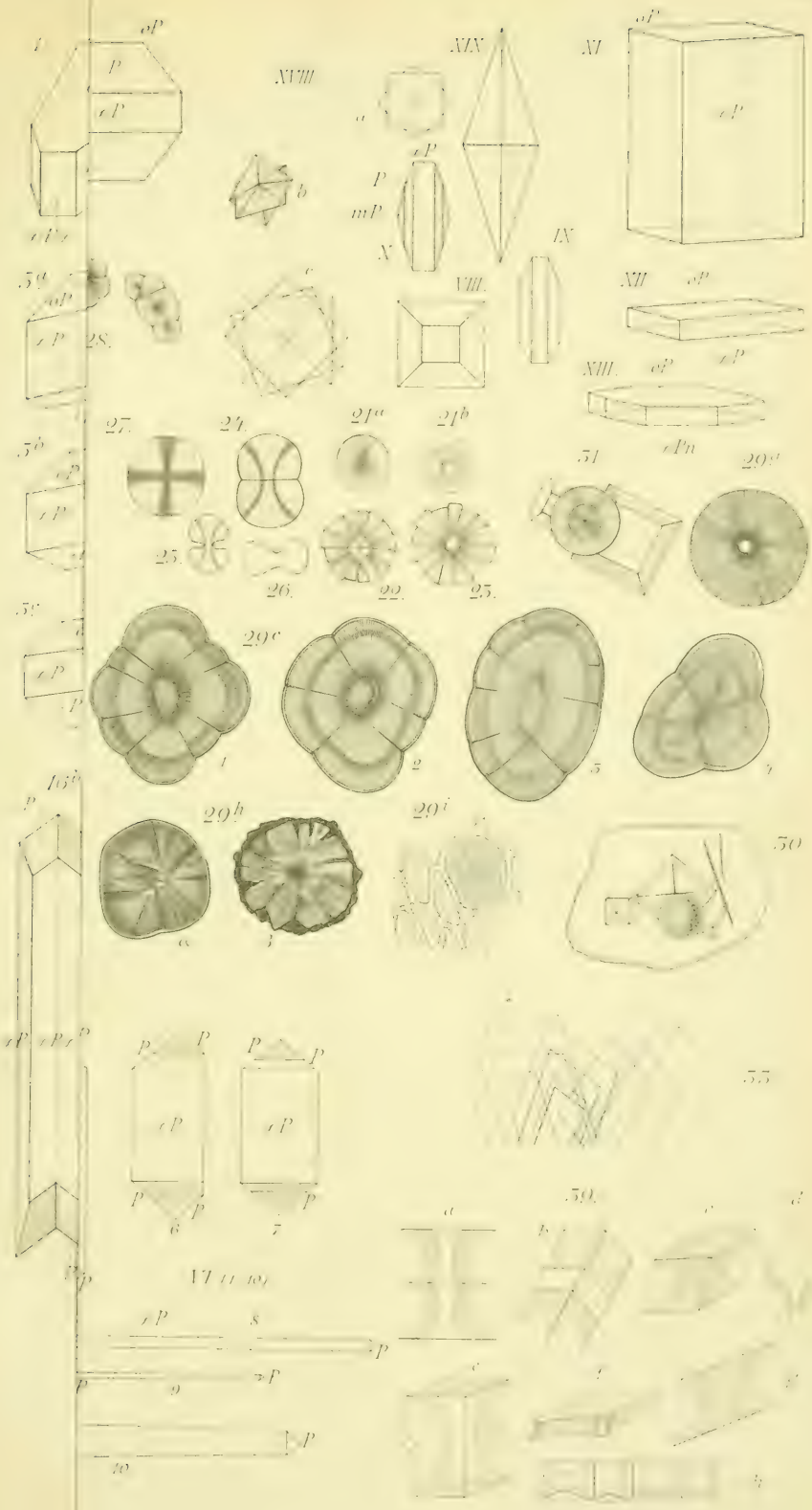
Z.

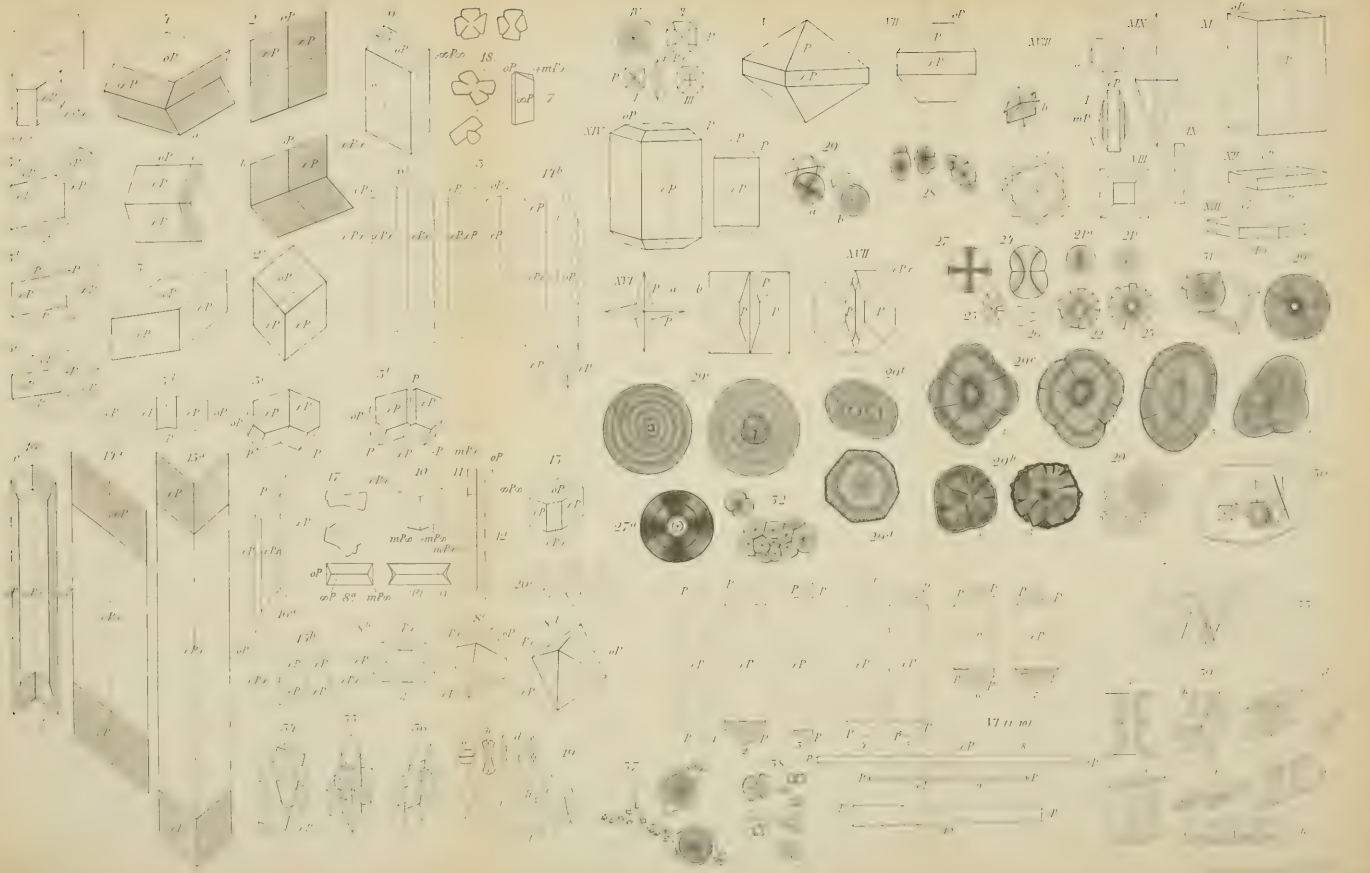
Zacharias und Wiebel. 102.
Zimmermann, A. 241.
Zittel, K. A. 147.
Zopf, W. 192.

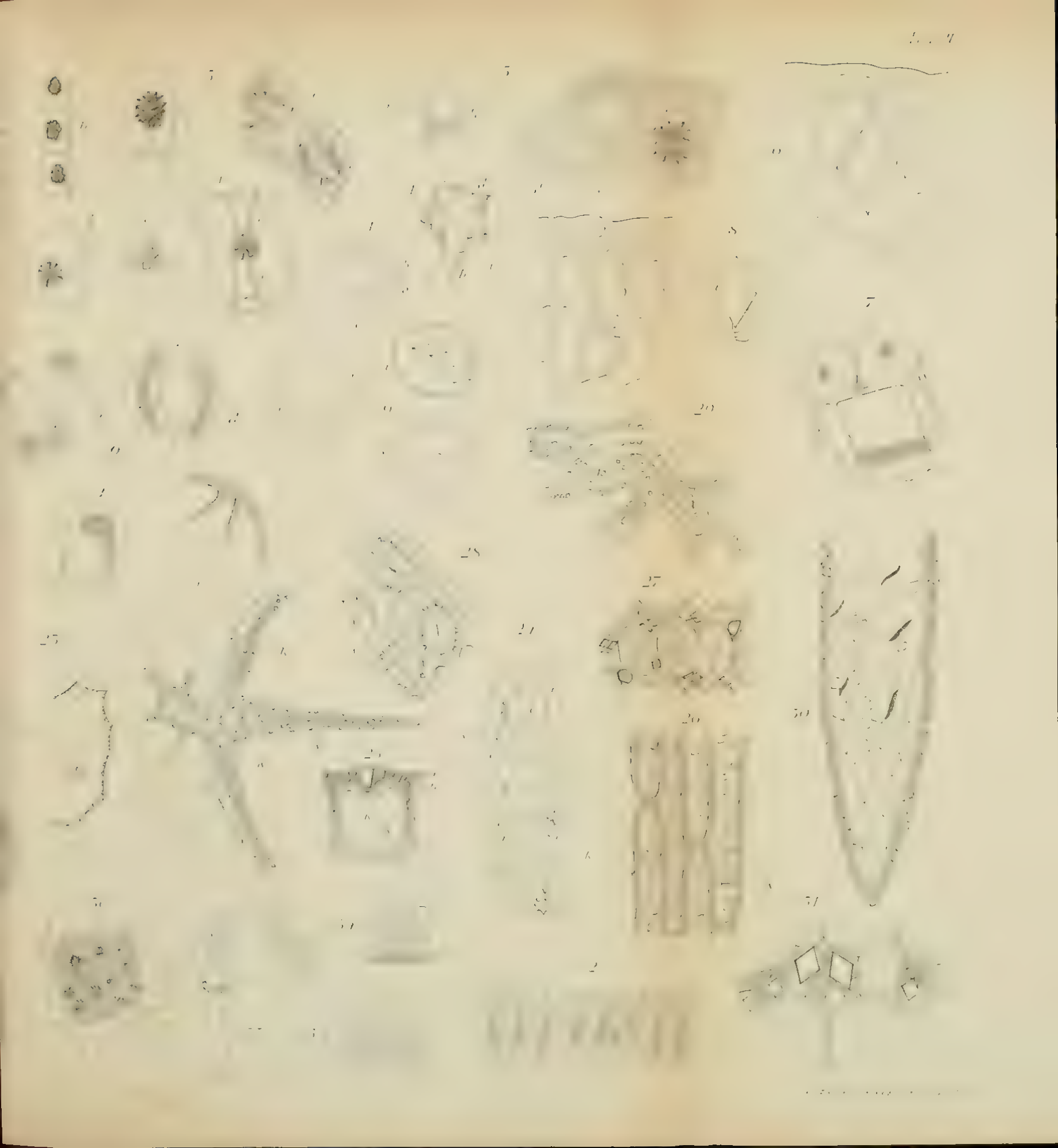
Druckfehler-Verzeichniss.

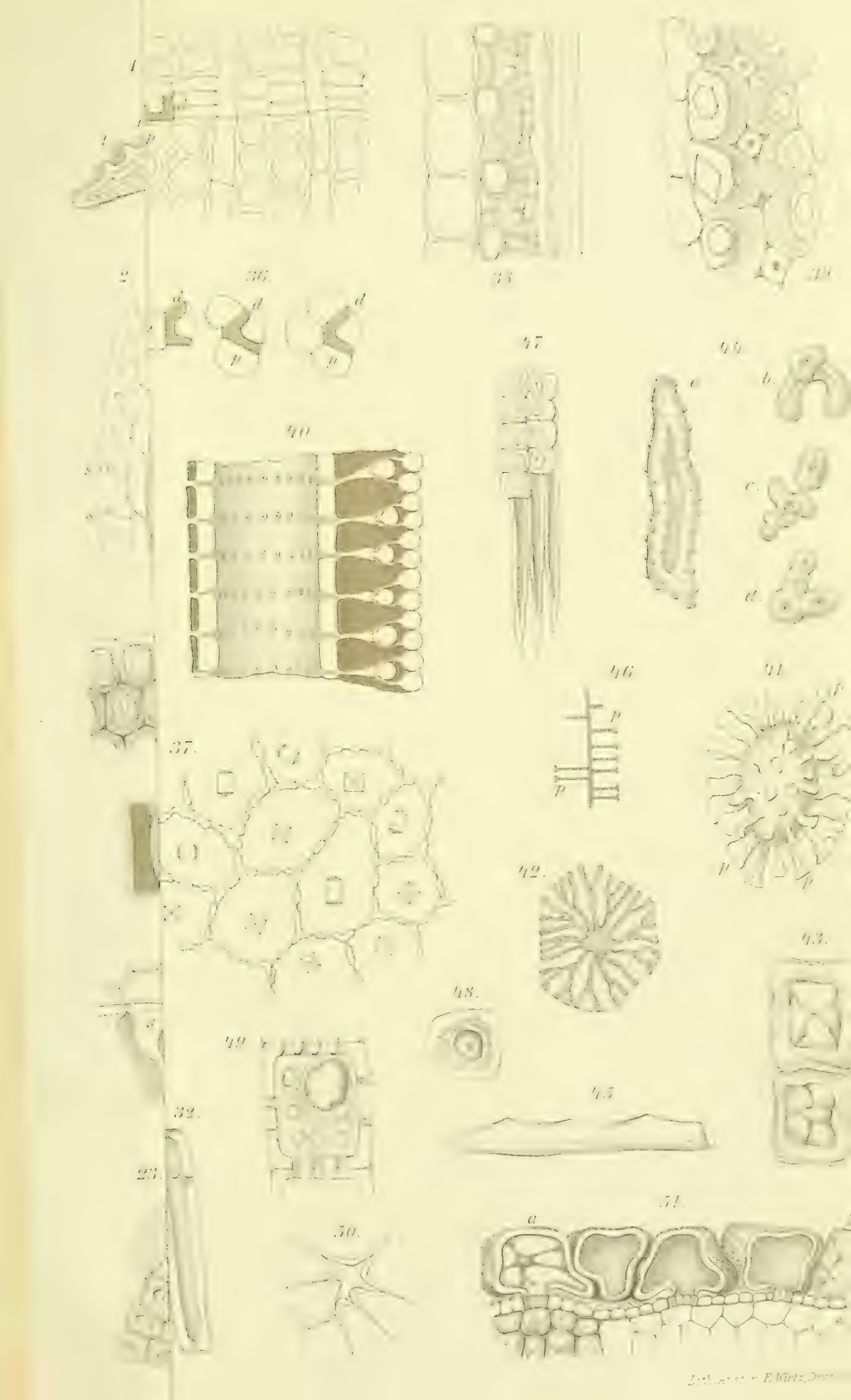
In Folge eines Versehens seitens der Druckerei mussten Bogen 1—9 umgedruckt werden, wobei sich nachstehende Druckfehler eingeschlichen haben:

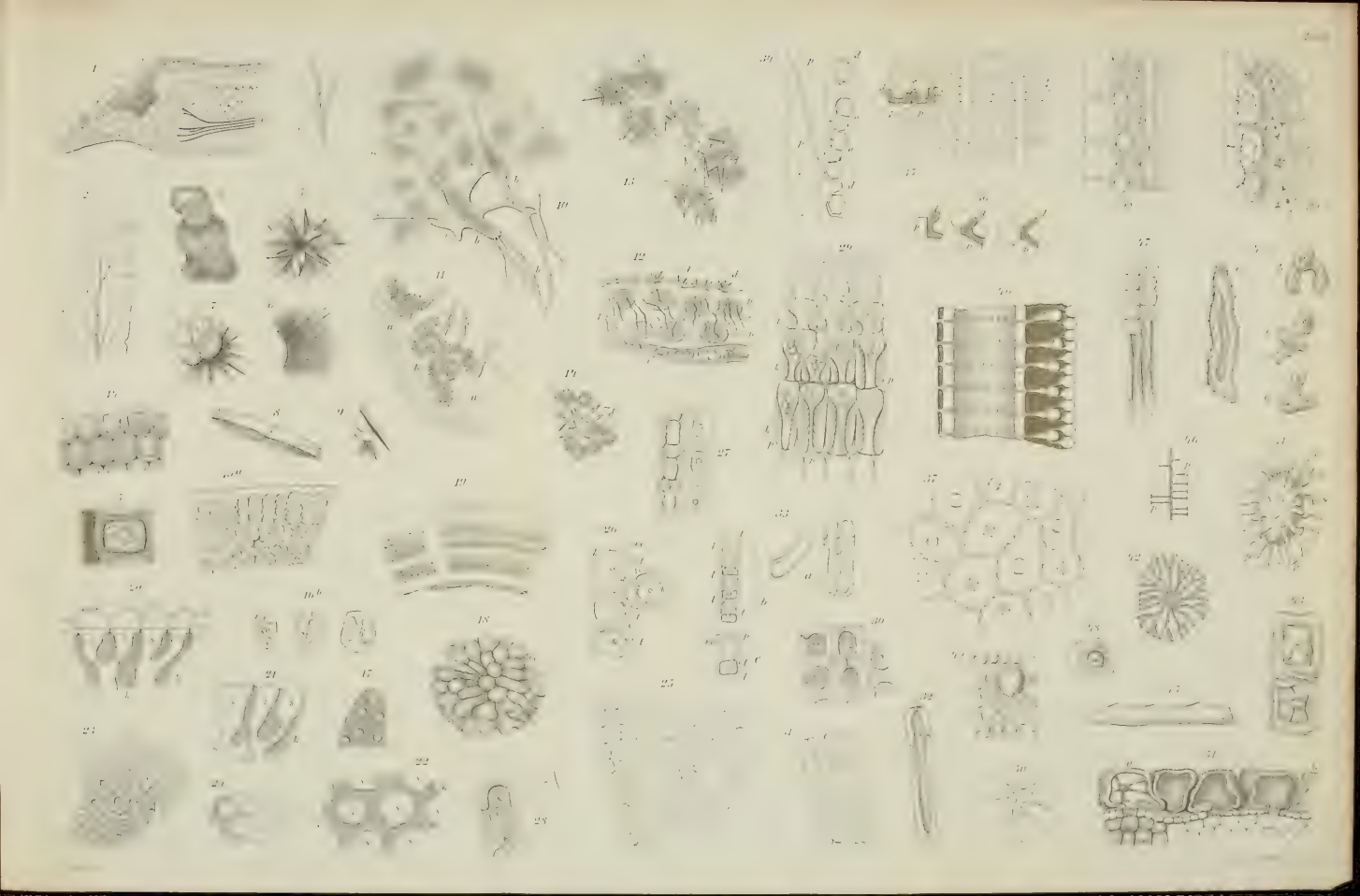
p. XII Z. 11 v. o. l.: 310.
p. XII Z. 12 v. o. l.: 312.
p. 4 Z. 22 v. o. l.: den.
p. 5 Z. 16 v. o. l.: Crenothrix polyspora, Leptothrix ochracea.
p. 8 Z. 1 v. u. l.: Fliche und Grandau.
p. 10 Z. 21 v. o. l.: canadensis.
p. 19 Z. 5 v. o. l.: begegnen wir.
p. 25 Z. 2 v. o. l.: anstellte, Z. 4 v. o. l.: Gelatine.
p. 32 Z. 1 v. u. l.: Phyllocactus.
p. 35 Z. 11 v. o. l.: Nauclea.
p. 36 Z. 12 v. u. l.: Basttheil.
p. 39 Z. 18 v. o. l.: Cellulose-Hülle, Z. 22 v. o. l.: erzeugt.
p. 42 Z. 12 v. o. l.: z. B.
p. 48 Z. 16 v. o. l.: Integument.
p. 52 Z. 1 v. o. l.: nascendi.
p. 57 Z. 12 v. u. l.: in dem Pallisaden-.
p. 62 Z. 3 v. u. l.: corollinisch.
p. 63 Z. 15 v. o. l.: besser gesagt.
p. 65 Z. 21 v. o. l.: Lachnea.
p. 66 Z. 18 v. o. l.: Microlepis.
p. 67 Z. 2 u. 3 v. u. l.: Rhaphiden.
p. 68 Z. 3 v. o. l.: angustifolia.
p. 80 Z. 4 v. o. l.: Aroideen.
p. 88 Z. 7 v. o. l.: Cellulosehaut.
p. 89 Z. 1 v. u. l.: Salix.
p. 101 Z. 1 v. u. l.: sareptana.
p. 109 Z. 12 v. u. l.: Enteridieen.
p. 115 Z. 13 v. o. l.: Ficus.
p. 116 Z. 13 v. o. l.: Wedell.
p. 126 Z. 7 v. o. l.: Thnbg., Z. 9 v. u. l.: Fig. 14.
p. 134 Z. 15 v. o. l.: Tupiniquinorum.
p. 142 Z. 21 v. o. l.: Symphytum.
p. 234 Z. 1 v. u. l.: Fig. 28.

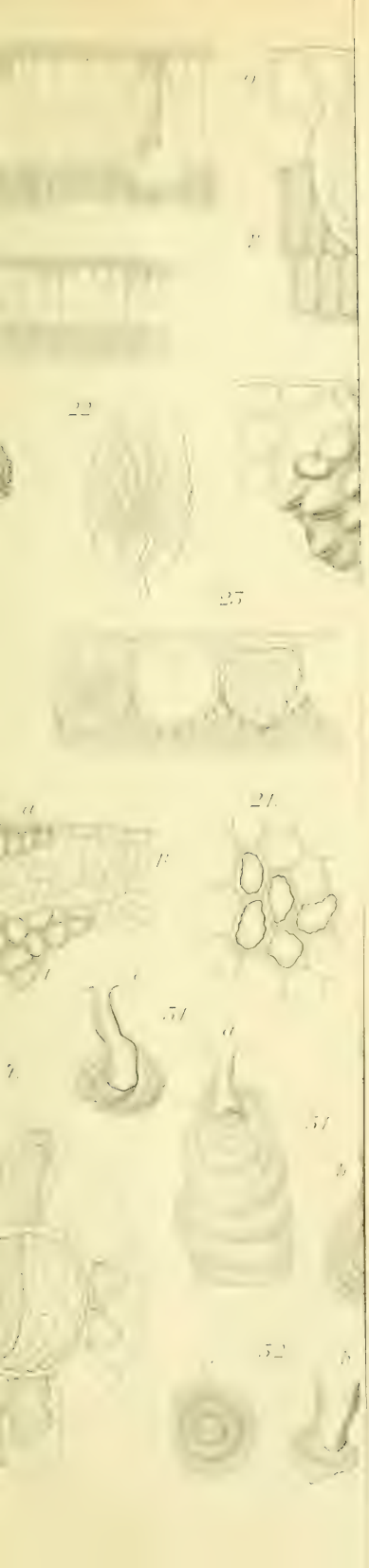

XVIII
XIX
XI
IX
VIII.
XII
XIII.
28.
27.
24.
21a
21b
31
29a
25.
26.
22.
23.
29c
29h
29i
30
16b
33
39.
VI (1 10)

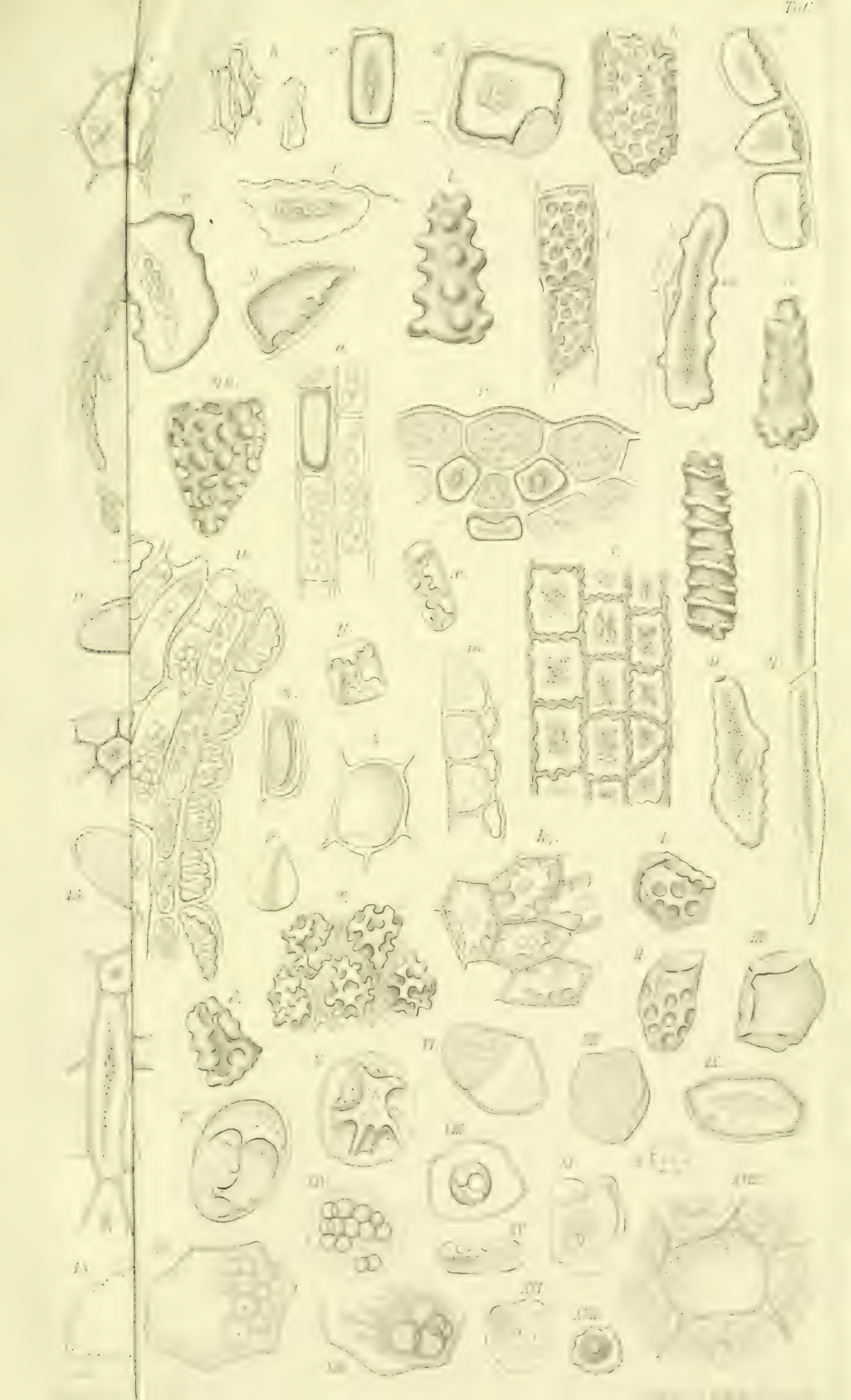


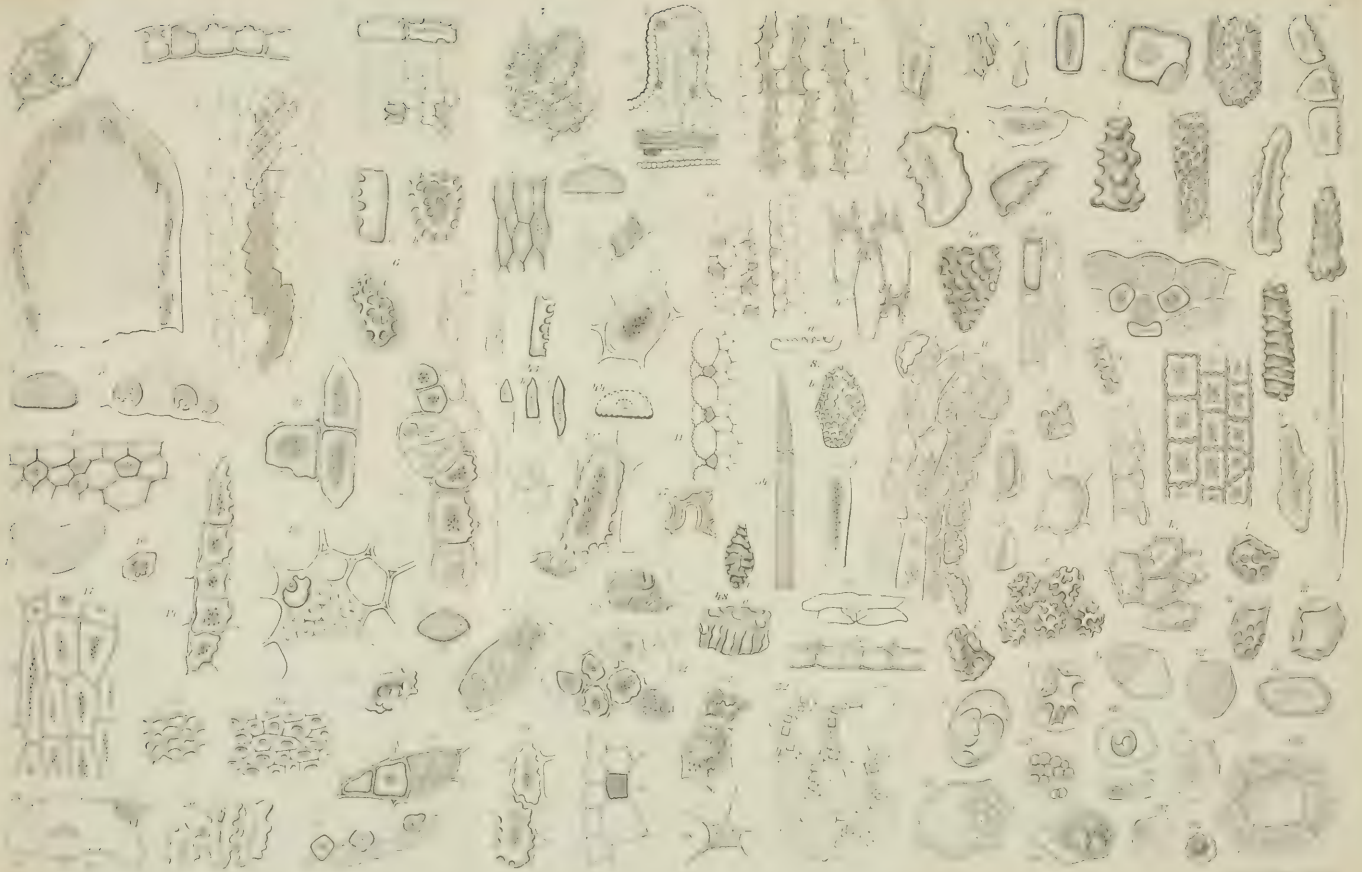


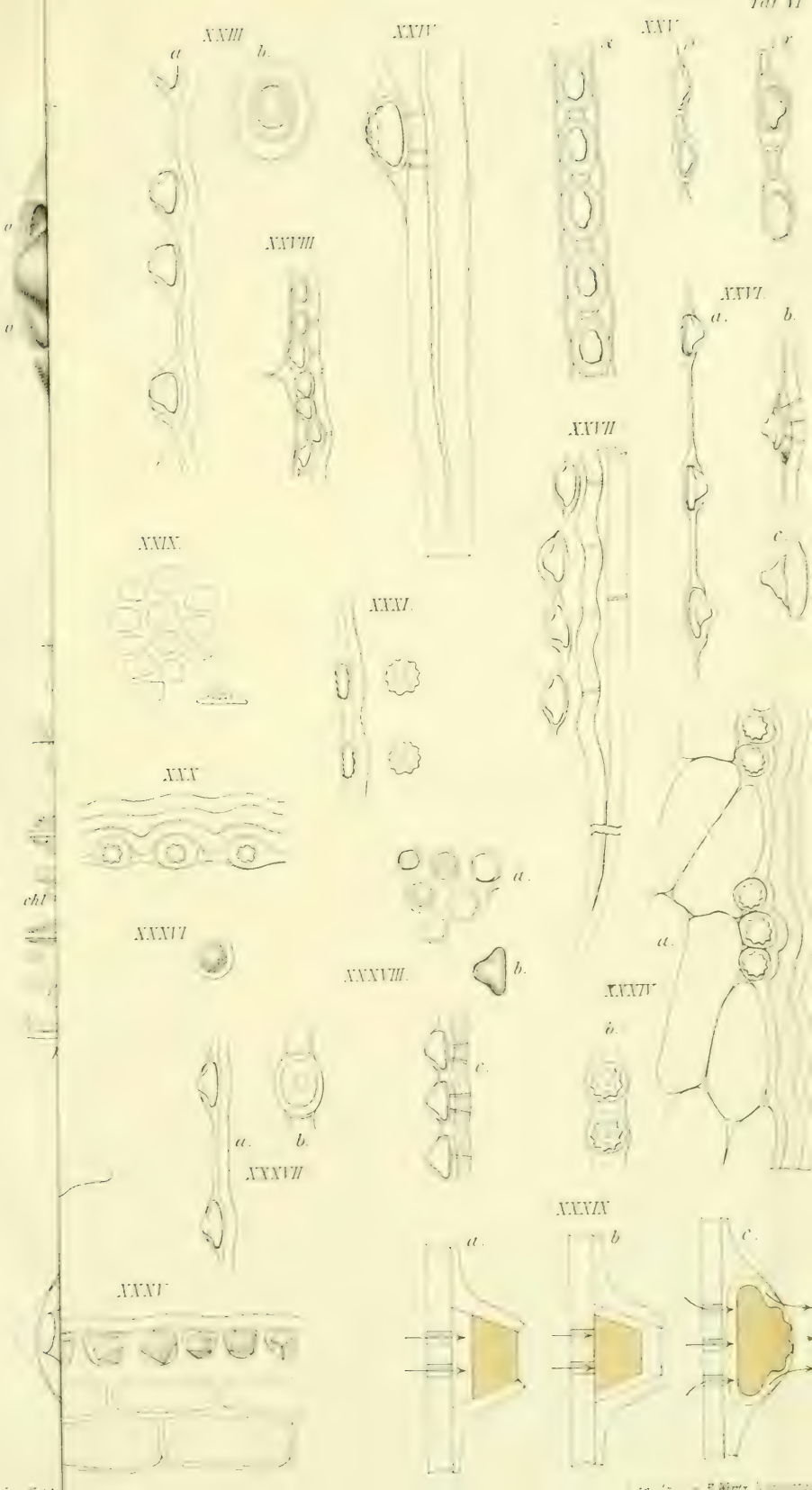


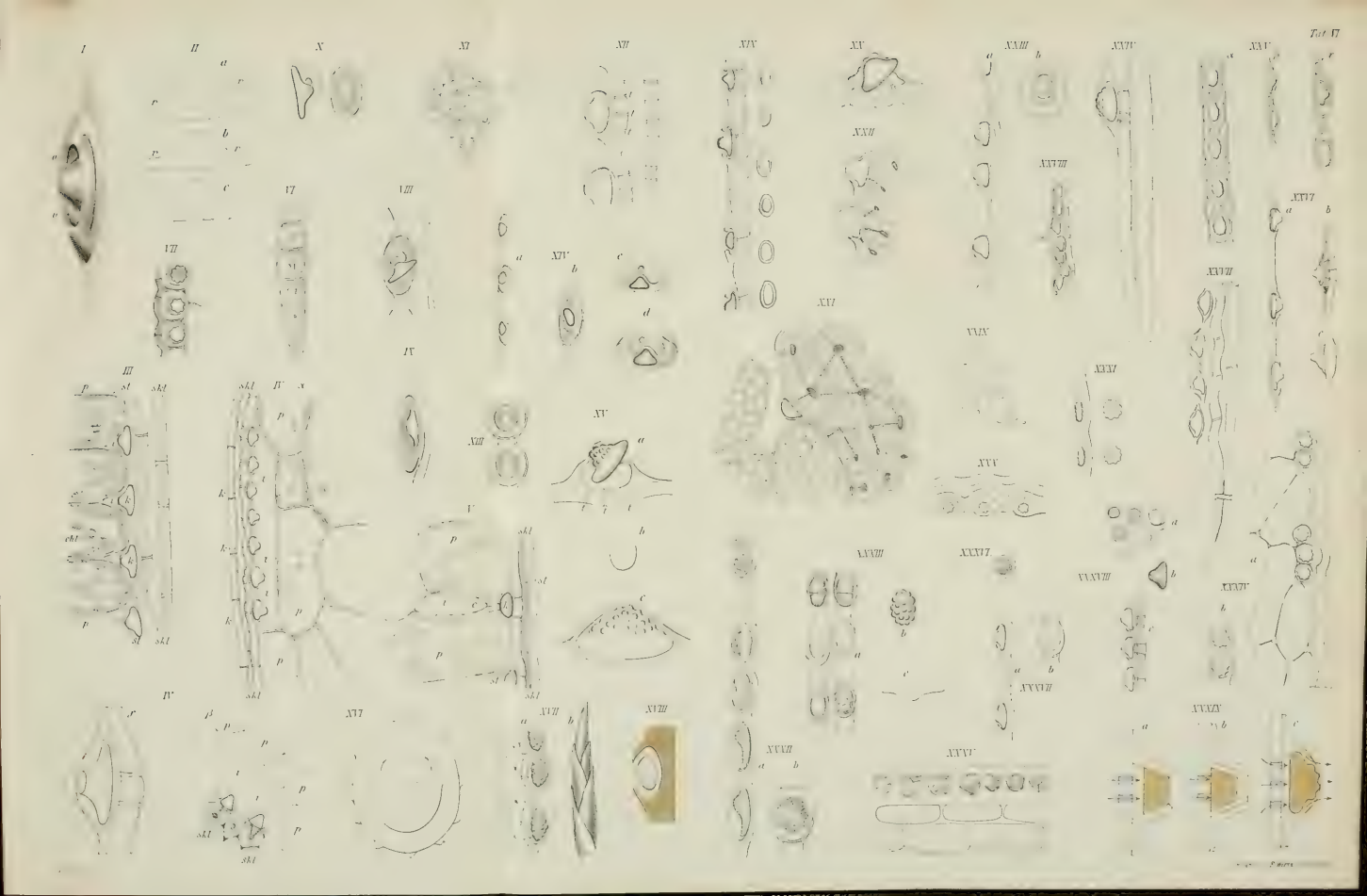




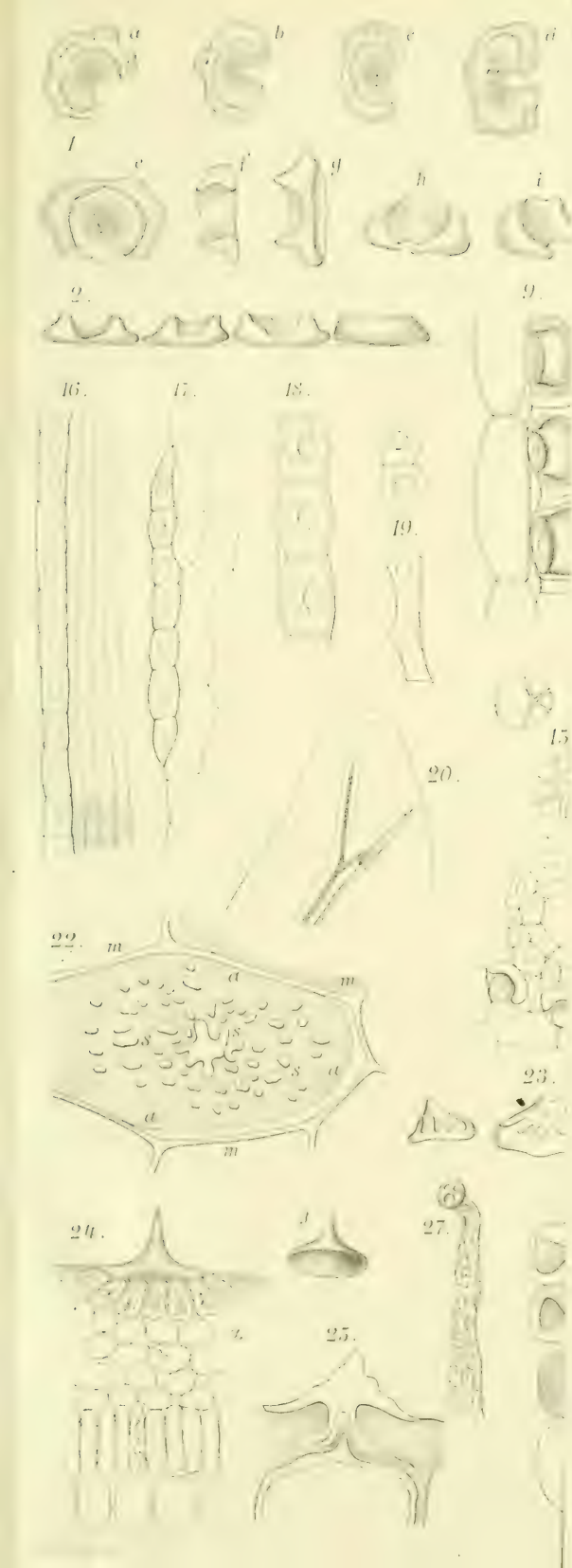


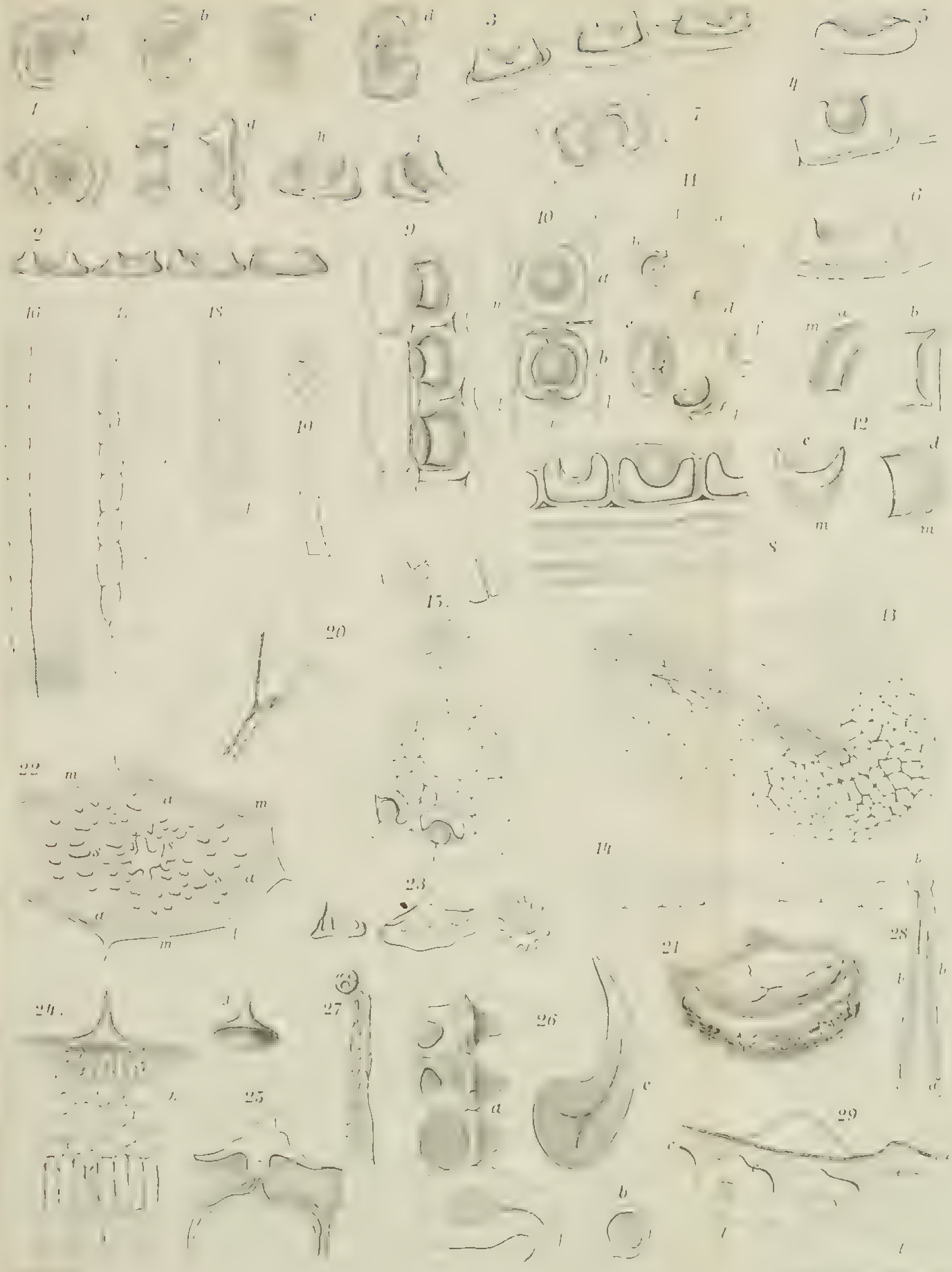



XXIII
a
b.
XXIV
XXV
XXVIII
XXVI.
a.
b.
XXVII
c.
XXIX.
XXXI.
XXX
a.
chl
XXXVI
XXXVIII.
b.
a.
XXXIV
b.
c.
a.
b.
XXXVII
XXXIX
a.
b
c.
XXXV



Lith. Anst. v. F. Metz, Darmstadt


a
b
c
d
1
e
f
g
h
i
2.
9.
16.
17.
18.
19.
20.
15
22.
m
a
s
23.
24.
z
27.
25.



New York Botanical Garden Library
QK865 .K6 1889
Kohl, Friedrich Emi/Anatomisch-physiolog
gen
3 5185 00077 3141